

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11030117 A

(43) Date of publication of
application: 02. 02 . 99

(51) Int Cl F01N 3/08
 F01N 3/08
 B01D 53/86
 B01D 53/94
 F01N 3/24
 F01N 3/24
 F01N 3/28
 F01N 3/28
 F02D 41/02
 F02D 41/02

(21) Application number: 10088985

(22) Date of filing: 01 . 04 . 98

(30) Priority: 12 . 05 . 97 JP 09121170

(71) Applicant: TOYOTA MOTOR CORP.

(72) Inventor: KINUGASA YUKIO
ITO TAKAAKI
TAKEUCHI KOICHI(54) EXHAUST EMISSION CONTROL DEVICE
OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve purifying efficiency of NOX in exhaust gas from a lean-burn engine driven at a lean air-fuel ratio.

SOLUTION: The subject facility is so composed that a ternary catalyst 5, a NOX occulusion-reduction catalyst 7 and a NH₃ adsorption-denitrification catalyst 9 are located from the upstream side in an exhaust passage 4 of an engine 1 having fuel injection valves, 71 to 74, in a cylinder. Fuel injections from the fuel injection valves in the cylinder are controlled by a control

circuit 30, and burning with a lean air-fuel ratio is started in the cylinder. Most of NOX in the exhaust gas of a lean air-fuel ratio from each cylinder is absorbed by the NOX occulusion-reduction catalyst 7, and a small quantity of NOX reaches the NH₃ adsorption-denitrification catalyst 9 and is purified by NH₃ absorbed in the catalyst. Additionally, fuel injection is performed periodically during a designated period into the cylinder in its expansion stroke or exhaust stroke of each cylinder by the control unit, and the air-fuel ratio of the exhaust gas is adjusted richly. Theraby, the rich exhaust gas, containing a large quantity of NOX as an ingredient of NH₃, flows into the ternary catalyst, and a large quantity of NH₃ is produced, and therefore

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-30117

(43)公開日 平成11年(1999)2月2日

(51)Int.Cl.⁶
F 01 N 3/08
B 01 D 53/86
53/94
F 01 N 3/24

識別記号
ZAB

F I
F 01 N 3/08
3/24
3/28

ZAB G
A
E
ZAB R
ZAB

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 31 頁) 最終頁に続く

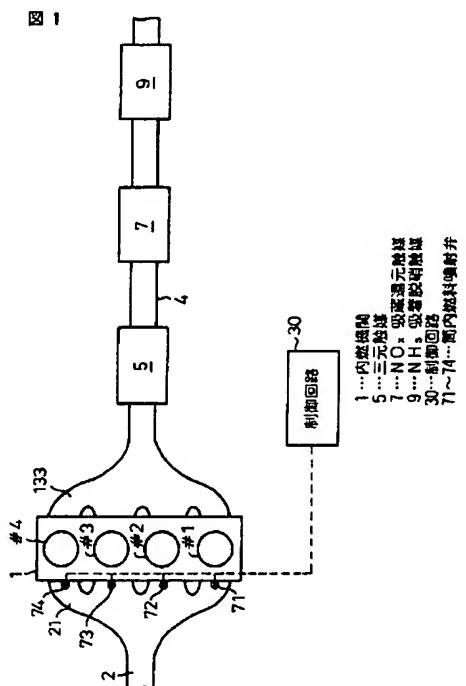
(21)出願番号 特願平10-88985
(22)出願日 平成10年(1998)4月1日
(31)優先権主張番号 特願平9-121170
(32)優先日 平9(1997)5月12日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町1番地
(72)発明者 衣笠 幸夫
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者 伊藤 隆景
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(72)発明者 竹内 公一
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(74)代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)

(54)【発明の名称】 内燃機関の排気浄化装置

(57)【要約】

【課題】 排気中のNO_xの浄化効率を向上させる。
【解決手段】 筒内燃料噴射弁71～74を有する機関1の排気通路4に上流側から三元触媒5、NO_x吸収還元触媒7、NH₃吸着脱硝触媒9を配置する。制御回路30は筒内燃料噴射弁からの燃料噴射を制御し気筒内リーン空燃比燃焼を生じさせる。各気筒からのリーン空燃比排気中のNO_xの大部分はNO_x吸収還元触媒に吸収され、少量のNO_xはNH₃吸着脱硝触媒に到達して触媒に吸着されたNH₃により浄化される。制御回路は、上記に加えて、定期的に所定の期間各気筒の膨張行程または排気行程に筒内に燃料噴射を行い排気空燃比をリッチに調整する。これにより、三元触媒にはNH₃の原料としてのNO_xを多量に含むリッチ排気が流入し、多量のNH₃が生成されるので、NO_x吸収還元触媒からのNO_xの放出とNH₃吸着脱硝触媒へのNH₃供給が行われる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 気筒内に直接燃料を噴射する筒内燃料噴射弁を備え、各気筒内でリーン空燃比燃焼を行うことが可能な内燃機関の排気浄化装置であって、気筒内でリーン空燃比の燃焼が生じた後に、膨張行程または排気行程中に前記筒内燃料噴射弁から燃料噴射を行い前記リーン空燃比燃焼により生じた排気の空燃比をリッチ空燃比に調整する排気空燃比調整手段と、前記排気空燃比調整手段により調整されたリッチ空燃比の排気が流入する排気通路に配置され、リッチ空燃比の排気中の NO_x を NH_3 に転換する NH_3 生成手段と、前記 NH_3 生成手段からの排気が流入する排気通路に配置され、排気中の NH_3 と NO_x とを反応させて NO_x と NH_3 との両方を浄化する排気浄化手段と、を備えた内燃機関の排気浄化装置。

【請求項2】 前記排気空燃比調整手段は、前記 NH_3 生成手段での NH_3 生成量を、前記排気空燃比の調整を実施する期間を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項3】 前記排気空燃比調整手段は、前記 NH_3 生成手段での NH_3 生成量を、前記排気空燃比の調整を実施する気筒数を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項4】 前記排気空燃比調整手段は、前記 NH_3 生成手段での NH_3 生成量を、調整後の排気空燃比の値を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項5】 前記排気空燃比調整手段は、機関の運転状態に応じて前記 NH_3 生成手段での NH_3 生成量を調節する請求項1から4までのいずれか1項に記載の排気浄化装置。

【請求項6】 前記排気浄化手段は、排気中の NH_3 を吸着する NH_3 吸着機能を有し吸着した NH_3 または排気中の NH_3 により排気中の NO_x を還元する機能を有する NH_3 吸着脱硝触媒を備えた請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項7】 前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中の NO_x を吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収した NO_x を放出し還元浄化する NO_x 吸収還元触媒を備えた請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項8】 前記排気浄化手段は、排気中の NH_3 を吸着する NH_3 吸着機能を有し吸着した NH_3 または排気中の NH_3 により排気中の NO_x を還元する機能を有する NH_3 吸着脱硝触媒と、排気空燃比がリーンのときに排気中の NO_x を吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収した NO_x を放出し還元浄化する NO_x 吸収還元触媒との両方を備えた請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項9】 前記 NO_x 吸収還元触媒は、前記 NH_3 吸着脱硝触媒の上流側の排気通路に配置された請求項8に記載の排気浄化装置。

【請求項10】 前記 NO_x 吸収還元触媒は、前記 NH_3 吸着脱硝触媒の下流側の排気通路に配置された請求項8に記載の排気浄化装置。

【請求項11】 前記排気浄化手段は、排気中の NH_3 を吸着する NH_3 吸着機能を有し吸着した NH_3 または排気中の NH_3 により排気中の NO_x を還元する機能を有する NH_3 吸着脱硝触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は機関の NO_x 発生量に応じて NH_3 生成量を変更する請求項2から5のいずれか1項に記載の排気浄化装置。

【請求項12】 前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中の NO_x を吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収した NO_x を放出し還元浄化する NO_x 吸収還元触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は機関の NO_x 発生量に応じて NH_3 生成量を変更する請求項2から5のいずれか1項に記載の排気浄化装置。

【請求項13】 前記排気浄化手段は、排気中の NH_3 を吸着する NH_3 吸着機能を有し吸着した NH_3 または排気中の NH_3 により排気中の NO_x を還元する機能を有する NH_3 吸着脱硝触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は前記 NH_3 吸着脱硝触媒の NH_3 吸着量が所定値以下になったときに前記空燃比の調整を実施する請求項1に記載の排気浄化装置。

【請求項14】 前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中の NO_x を吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収した NO_x を放出し還元浄化する NO_x 吸収還元触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は前記 NO_x 吸収還元触媒の NO_x 吸着量が所定値以上になったときに前記空燃比の調整を実施する請求項1に記載の排気浄化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の排気浄化装置に関し、詳細には、全体としてリーン空燃比で運転されるリーンバーンエンジンからの排気中の NO_x を高い効率で浄化することが可能な排気浄化装置に関する。

【0002】

【従来の技術】車両用等の内燃機関からの排気中の HC 、 CO 、 NO_x （ NO 、 NO_2 、 N_2O_4 、 N_2O 等の窒素酸化物）の有害成分を浄化する排気浄化装置としては、三元触媒を用いたものが従来から知られている。三元触媒は、排気空燃比が理論空燃比の時に HC 、 CO 成分の酸化と NO_x 成分の還元とを同時に進行し、これら三成分を同時に浄化することができる。しかし、三元触媒の NO_x 浄化能力は排気空燃比が理論空燃比以上（すなわちリーン空燃比に）なると急激に低下する。このため、全体として理論空燃比より高い空燃比で運転されるリーンバーン内燃機関の排気中の NO_x を三元触媒により浄化することは従来困難であった。

【0003】上記問題を解決するために、例えば特開平4-365920号公報は脱硝反応を利用した内燃機関の排気浄化装置を提案している。三元触媒は、排気空燃比が理論空燃比より低いときに（すなわちリッチ空燃比のときに）排気中のNO_xの一部をN₂に変換するとともに残りのNO_xをNH₃に変換するNH₃生成作用を行う。上記公報の装置は、NO_xのNH₃への転換効率の高い三元触媒を用いてNH₃を発生させ、このNH₃と排気中のNO_xとを反応させて脱硝反応によりN₂とH₂Oに浄化するようにしたものである。

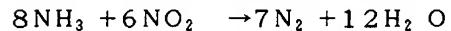
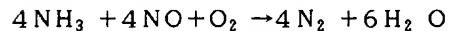
【0004】すなわち、上記公報の装置では、多気筒機関の一部の気筒をリッチ空燃比で運転し、他の気筒をリーン空燃比で運転することにより、機関全体として平均すると理論空燃比より高い（リーンな）空燃比での運転を行なう。また、リッチ空燃比運転される気筒に接続された排気通路には、上記NH₃発生効率の高い三元触媒が配置され、この三元触媒下流側でリーン空燃比気筒からの排気がリッチ空燃比気筒からの排気と合流するようになされている。

【0005】リッチ空燃比気筒からの排気に含まれるNO_xの一部は上記三元触媒によりNH₃に転換されるため、三元触媒下流側でのリッチ空燃比気筒からの排気にはNH₃が含まれることになる。一方、リーン空燃比気筒から排出される排気には比較的多量のNO_xが含まれる。上記特開平4-365920号公報の装置は、上記NH₃を含む排気とNO_xを含む排気とを合流させ、NO_xとNH₃とを反応させて脱硝反応を生じさせることによりNH₃とNO_xとをN₂とH₂Oとに転換するようにして、NO_xの浄化効率を向上させたものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平4-365920号公報の装置のようにリーン空燃比気筒から排出されるNO_xをNH₃と反応させて浄化するためには、リーン空燃比気筒から排出されるNO_x量の全量を浄化できるだけのNH₃が必要になる。例えば、内燃機関から排出されるNO_xは、その殆どがNO（一酸化窒素）とNO₂（二酸化窒素）成分からなるが、これらのNO、NO₂成分はNH₃成分と以下に示す脱硝反応を生じ、N₂とH₂Oに転換される。

【0007】



このため、上記公報の装置で排気中のNO_xを完全に浄化するためには、リーン空燃比気筒からの排気中のNOのモル数と同量、及びNO₂のモル数の4/3倍のモル数のNH₃が必要となる。また、同様に排気中の他のNO_x成分（N₂O₄、N₂O等）を完全に浄化するためには上記の量のNH₃に加えて、それぞれN₂O₄、N₂Oとそれぞれ等量比のモル数のNH₃が必要となる。ところが、排気中のNO_x量は気筒の運転空燃比が理論

空燃比よりリーン側（例えば空気過剰率が1.2程度）のときに最も多くなり、理論空燃比以下では急激に少なくなる。このため、上記公報のようにリッチ空燃比気筒からの排気中のNO_xの一部をNH₃に転換するようにしていると、発生するNH₃の量は比較的少なくなりリーン空燃比気筒からの排気中に含まれる比較的多量のNO_xを全量浄化することはできない。このため、上記特開平4-365920号公報の装置では、三元触媒で生成されるNH₃量の不足のために排気中のNO_xの一部が浄化されずにそのまま大気に放出される問題が生じる。

【0008】また、上記特開平4-365920号公報の装置のように一部の気筒をリッチ空燃比で運転し、他の気筒をリーン空燃比で運転した場合には、リッチ空燃比気筒とリーン空燃比気筒との出力トルクが異なってくため機関全体で出力トルクの変動が生じる問題がある。本発明は上記問題を解決し、リッチ空燃比の排気中のNO_xをNH₃に転換し、このNH₃を用いて排気中のNO_xを還元する際に、生成されるNH₃の量を増大することにより排気中のNO_xの浄化率を向上させることができ可能であり、かつ機関全体の出力トルク変動を抑制可能な内燃機関の排気浄化装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】各請求項に記載の発明では、NH₃生成手段に供給されるリッチ空燃比排気中の、NH₃の原料としてのNO_xの量を通常のリッチ空燃比燃焼排気より大幅に増大させることにより、十分な量のNH₃をNH₃生成手段で生成する。そして、この十分な量のNH₃を排気浄化手段に供給することにより、排気中のNO_xの浄化率を向上させる。また、NO_xを多く含むリッチ空燃比排気を生成する方法としては、気筒内でNO_x発生量の多いリーン空燃比燃焼を行い、膨張行程または排気行程中に筒内のリーン空燃比の既燃ガスに燃料噴射弁から燃料を供給することにより気筒から排出される排気をリッチ空燃比にする。

【0010】すなわち、請求項1に記載の発明によれば、気筒内に直接燃料を噴射する筒内燃料噴射弁を備え、各気筒内でリーン空燃比燃焼を行うことが可能な内燃機関の排気浄化装置であって、気筒内でリーン空燃比の燃焼が生じた後に、膨張行程または排気行程中に前記筒内燃料噴射弁から燃料噴射を行い前記リーン空燃比燃焼により生じた排気の空燃比をリッチ空燃比に調整する排気空燃比調整手段と、前記排気空燃比調整手段により調整されたリッチ空燃比の排気が流入する排気通路に配置され、リッチ空燃比の排気中のNO_xをNH₃に転換するNH₃生成手段と、前記NH₃生成手段からの排気が流入する排気通路に配置され、排気中のNH₃とNO_xとを反応させてNO_xとNH₃との両方を浄化する排気浄化手段と、を備えた内燃機関の排気浄化装置が提供

される。

【0011】請求項2に記載の発明によれば、前記排気空燃比調整手段は、前記NH₃生成手段でのNH₃生成量を、前記排気空燃比の調整を実施する期間を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。請求項3に記載の発明によれば、前記排気空燃比調整手段は、前記NH₃生成手段でのNH₃生成量を、前記排気空燃比の調整を実施する期間を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。

【0012】請求項4に記載の発明によれば、前記排気空燃比調整手段は、前記NH₃生成手段でのNH₃生成量を、調整後の排気空燃比の値を変更することにより調節する請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。請求項5に記載の発明によれば、前記排気空燃比調整手段は、機関の運転状態に応じて前記NH₃生成手段でのNH₃生成量を調節する請求項1から4までのいずれか1項に記載の排気浄化装置が提供される。

【0013】請求項6に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気中のNH₃を吸着するNH₃吸着機能を有し吸着したNH₃または排気中のNH₃により排気中のNO_xを還元する機能を有するNH₃吸着脱硝触媒を備えた請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。請求項7に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中のNO_xを吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収したNO_xを放出し還元浄化するNO_x吸着還元触媒を備えた請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。

【0014】請求項8に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気中のNH₃を吸着するNH₃吸着機能を有し吸着したNH₃または排気中のNH₃により排気中のNO_xを還元する機能を有するNH₃吸着脱硝触媒と、排気空燃比がリーンのときに排気中のNO_xを吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収したNO_xを放出し還元浄化するNO_x吸着還元触媒との両方を備えた請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。

【0015】請求項9に記載の発明によれば、前記NO_x吸着還元触媒は、前記NH₃吸着脱硝触媒の上流側の排気通路に配置された請求項8に記載の排気浄化装置が提供される。請求項10に記載の発明によれば、前記NO_x吸着還元触媒は、前記NH₃吸着脱硝触媒の下流側の排気通路に配置された請求項8に記載の排気浄化装置が提供される。

【0016】請求項11に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気中のNH₃を吸着するNH₃吸着機能を有し吸着したNH₃または排気中のNH₃により排気中のNO_xを還元する機能を有するNH₃吸着脱硝触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は機関のNO_x発生量に応じてNH₃生成量を変更する請求項2から5のいずれか1項に記載の排気浄化装置が提供される。

【0017】請求項12に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中のNO_xを吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収したNO_xを放出し還元浄化するNO_x吸着還元触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は機関のNO_x発生量に応じてNH₃生成量を変更する請求項2から5のいずれか1項に記載の排気浄化装置が提供される。

【0018】請求項13に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気中のNH₃を吸着するNH₃吸着機能を有し吸着したNH₃または排気中のNH₃により排気中のNO_xを還元する機能を有するNH₃吸着脱硝触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は前記NH₃吸着脱硝触媒のNH₃吸着量が所定値以下になったときに前記空燃比の調整を実施する請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。

【0019】請求項14に記載の発明によれば、前記排気浄化手段は、排気空燃比がリーンのときに排気中のNO_xを吸収し排気空燃比がリッチのときに吸収したNO_xを放出し還元浄化するNO_x吸着還元触媒を備え、前記排気空燃比調整手段は前記NO_x吸着還元触媒のNO_x吸着量が所定値以上になったときに前記空燃比の調整を実施する請求項1に記載の排気浄化装置が提供される。

【0020】以下、各請求項の発明の作用について説明する。請求項1の発明では、気筒内での燃焼時の空燃比はリーン空燃比であるため、燃焼時に発生するNO_xはリッチ空燃比燃焼の場合より多くなる。そして、燃焼行程が終了すると、排気空燃比調整手段は膨張行程または排気行程中に筒内燃料噴射弁からリーン空燃比燃焼後の既燃ガスに燃料を噴射する。従って、気筒からはリーン空燃比燃焼の際の比較的多量のNO_xを含みながら空燃比がリッチに調整された排気が排出される。このため、このリッチ空燃比の排気中のNO_x量は同一のリッチ空燃比で燃焼を行った場合の排気中のNO_x量より多くなる。この排気は、NH₃生成手段に供給され、排気中のNO_xがNH₃に転換されるため、NH₃生成手段では比較的多量のNH₃が生成され、排気浄化手段に供給される。排気浄化手段では、十分な量のNH₃が供給されるためNO_x浄化のためのNH₃が不足することがなく、NO_xの浄化率が向上する。

【0021】請求項2から4の発明では、排気空燃比調整手段はNH₃生成手段でのNH₃生成量を調節する。例えば、NH₃生成手段に供給する排気をリッチ空燃比に調整する期間（すなわちNH₃生成手段でNH₃が生成される期間）や、排気をリッチ空燃比に調整する気筒の数（すなわちNH₃生成手段に供給する原料としてのNO_xの量）、調整後の空燃比の値（すなわちNH₃生成手段に流入する排気の空燃比のリッチの度合い）等を変更することによりNH₃生成手段でのNH₃生成量が調節される。

【0022】また、請求項5の発明では、上記NH₃生成量の調節は、機関運転状態（例えば機関のNO_x発生量）等に応じて行われる。請求項6から請求項11の発明では、排気浄化手段はNH₃吸着脱硝触媒とNO_x吸収還元触媒とのうちの一方または両方を含んでおり、NH₃吸着脱硝触媒による脱硝反応とNO_x吸収還元触媒のNO_x吸放出作用との一方または両方によりNH₃生成手段で生成したNH₃により排気中のNO_xを浄化する。

【0023】請求項11と12との発明では、機関のNO_x発生量に応じてNH₃生成量の調節が行われる。このため、NH₃吸着脱硝触媒でNO_xを浄化するに必要な量のNH₃、またはNO_x吸収還元触媒から放出されたNO_xを浄化するに必要な量のNH₃が適切に供給されるようになる。請求項13の発明では、NH₃吸着脱硝触媒が吸着したNH₃量が所定値以下になったときに排気空燃比調整手段による排気空燃比の調整が行われる。すなわち、NH₃吸着脱硝触媒が吸着したNH₃量が低下するとNH₃吸着脱硝触媒にNH₃が供給されるため、NH₃吸着脱硝触媒のNH₃吸着量は所定値以上に保持される。従って、NH₃吸着脱硝触媒では吸着したNH₃によるNO_xの浄化が行われる。

【0024】請求項14の発明では、NO_x吸収還元触媒が吸収したNO_x量が所定値以上になったときに排気空燃比調整手段による排気空燃比の調整が行われる。すなわち、NO_x吸収還元触媒からNO_xの放出が行われる時にNH₃が供給されるため、放出されたNO_xの浄化が完全に行われる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を用いて本発明の実施形態について説明する。以下の実施形態において、図1、図8から図10、及び図23から図26は機関の全部の気筒からの排気がNH₃生成手段を通過する実施形態を、図12、図15、図16、図19及び図27は、特定の気筒の排気のみがNH₃生成手段に供給され、NH₃生成手段通過後の排気が他の気筒からの排気と合流する実施形態を、それぞれ示している。なお、以下の各実施形態の図で、同一の参考符号は同一の要素を示すものとする。

【0026】以下の実施形態のうち、図1、図8から図10、及び図12、図15、図16、図19の実施形態ではNH₃生成手段として後述する三元触媒が使用されている。また、排気浄化手段としては、図1、図8、図12、図15の実施形態では後述するNO_x吸収還元触媒とNH₃吸着脱硝触媒との両方が同時に使用されているのに対して、図9の実施形態ではNO_x吸収還元触媒のみが、図10、図16、図17の実施形態ではNH₃吸着脱硝触媒のみが、それぞれ使用されている。更に、図23から図27の実施形態では、NH₃生成手段としてNO_x吸収還元触媒が使用されている。すなわち、図

23から図27の実施形態ではNO_x吸収還元触媒は排気浄化手段として機能するだけでなく、NH₃生成手段としても機能する。

【0027】以下、それぞれの実施形態について説明する。図1は、本発明を自動車用エンジンに適用した場合の実施形態の概略構成を示す図である。図1において、1は自動車用多気筒内燃機関を示す。本実施形態では、機関1は4気筒機関とされ、#1から#4の4つの気筒を備えている。後述するように、本実施形態では#1から#4の気筒は気筒内に直接燃料を噴射する筒内燃料噴射弁71から74を備えており、通常運転時にはリーン空燃比運転（気筒内での燃焼時の混合気空燃比がリーン空燃比である運転）を行う。

【0028】図1に示すように、本実施形態では、#1から#4の各気筒からの排気は排気マニホールド133を介して集合排気通路4に流入する。また、集合排気通路4上には排気通路上流側から、NH₃生成手段として機能する三元触媒5、排気浄化手段として機能するNO_x吸収還元触媒7とNH₃吸着脱硝触媒9がこの順に配置されている。三元触媒5、NO_x吸収還元触媒7、NH₃吸着脱硝触媒9については後に詳述する。

【0029】制御回路30は、例えばRAM、ROM、CPU及び入出力ポートを有するマイクロコンピュータとして構成され、機関1の燃料噴射制御、点火時期制御等を行なう。更に、図1において、21で示すのは、#1から#4の各気筒の吸気ポートを共通の吸気通路2に接続する吸気マニホールドである。筒内燃料噴射弁71から74は、制御回路30からの燃料噴射信号に応じて、図2に示すように直接各気筒内に燃料を噴射するものである。本実施形態では、筒内燃料噴射弁は各気筒の吸気行程中または圧縮行程中に気筒内に燃料を噴射し、各気筒内でリーン空燃比の燃焼を生じさせる（以下、この吸気行程中または圧縮行程中に行われる、気筒内で燃焼を生じさせるための燃料噴射を「主燃料噴射」と呼ぶ）。また、筒内燃料噴射弁71から74は、排気空燃比調整手段として機能する際には、上記主燃料噴射に加えて膨張行程（好ましくは膨張行程後半）または排気行程中に燃料噴射を実行する（以下、この膨張行程中または排気行程中の燃料噴射を「追加燃料噴射」と呼ぶ）。これにより、リーン空燃比燃焼により生じた既燃ガスに筒内で燃料が追加されるため気筒から排出される排気の空燃比はリッチ空燃比となる。さらに、膨張行程または排気行程中に噴射された燃料は燃焼には寄与せず、既燃ガスの熱により気化して排気と一緒に混合した状態で気筒から排出される。従って、追加燃料噴射を行った場合でも気筒の出力トルクが増大するこがないため、一部の気筒のみに追加燃料噴射を行った場合でも機関の出力トルク変動が生じることがない。

【0030】また、通常、ガソリン、軽油等の燃料には比較的分子量の大きいHC（炭化水素）が多く含まれ

る。しかし、追加燃料噴射により筒内に供給された燃料は、既燃ガスの熱と筒内の高圧とに曝されるため、クラッキングにより燃料中の分子量の大きいHCが低分子量のHCに転換され、その一部が排気中で水性反応を生じCOやH₂が生成される。このため、追加燃料噴射時の排気には、COやH₂、反応性の高い低分子量のHCが多く含まれるようになる。

【0031】なお、主燃料噴射は、例えば吸気行程中に実施して気筒内に均一なリーン空燃比の混合気を形成して均一混合気燃焼を生じさせるものとしても良いし、吸気行程後半から圧縮行程中に実施して点火プラグ近傍に気筒内の他の部分より濃い混合気層を形成する層状給気としても良い。次に、本実施形態で使用される三元触媒5、NO_x吸蔵還元触媒7及びNH₃吸着脱硝触媒9について説明する。

【0032】本実施形態では、三元触媒5として、ハニカム状に成形したコーチェライト等の担体を用いて、この担体表面にアルミナの薄いコーティングを形成し、このアルミナ層に白金Pt、パラジウムPd、ロジウムRh等の貴金属触媒成分を担持させたものが用いられる。三元触媒5は理論空燃比（空気過剰率λ=1.0）でHC、CO、NO_xの3成分を高効率で浄化する。HC、COの浄化率は排気の空気過剰率λが1より大きい（排気空燃比が理論空燃比よりリーン側）の領域では理論空燃比における浄化率より高くなり、逆にNO_xの浄化率は排気の空気過剰率λが1より小さい（排気空燃比が理論空燃比よりリッチ側）の領域で理論空燃比における浄化率より高くなる。

【0033】また、λ<1.0（リッチ）の領域では、排気中のNO_x（NO）は、
 $2CO + 2NO \rightarrow N_2 + 2CO_2$ 及び、
 $2H_2 + 2NO \rightarrow N_2 + 2H_2O$
 の還元反応により一部がN₂に転換されるが、残りのNOは、
 $5H_2 + 2NO \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O$
 の反応によりNH₃に転換される。

【0034】触媒成分としてロジウムRhを多く含む程、上記NO→NH₃の転換率は高くなる。また、触媒成分としてパラジウムPdは、NO→NH₃の転換率が比較的高く、かつHC、COの浄化性能も高い。本実施例では、後述するように三元触媒5で生成したNH₃を用いて下流側の脱硝触媒9で排気中のNO₂を浄化するためできるだけ三元触媒5で多くのNH₃を生成させる必要がある。そこで、本実施形態の三元触媒5はロジウムRhもしくはパラジウムPdを多く配合したものが使用される。

【0035】図3は、三元触媒5のNO_xの転換率（流入する排気中のNO_xのうち、N₂またはNH₃に転換されるNO_x量の割合）とNH₃の生成率（流入する排気中のNO_xのうちNH₃に転換されるNO_x量の割合）

合）の排気空燃比による変化を示す図である。図3に示すように、NO_xの転換率（図3実線）は排気空燃比が理論空燃比（λ=1.0）より大きくなると急激に減少する。すなわち、排気空燃比がリーンの場合には、三元触媒5に流入するNO_xのうち、そのまま三元触媒5を通過するNO_xの割合が急激に増加するようになる。一方、排気空燃比がリッチの場合にはNO_xの転換率は上昇し、排気の空気過剰率λが0.95程度以下の領域ではNO_xの転換率は略100%になる。すなわち、排気の空気過剰率λが0.95以下の領域では、流入する排気中のNO_xは略全部N₂またはNH₃に転換され、三元触媒5からは流出しない。また、NH₃の生成率（図3点線）は、排気の空燃比が理論空燃比より高い（リーン）領域ではほぼ0となり、理論空燃比以下の領域では排気の空気過剰率λが低下するとともに増大し、λ=0.95以下の領域では略一定になる。すなわち、排気空燃比がλ=0.95以下の領域では、流入する排気中のNO_xの略全量がN₂またはNH₃に転換され、しかもNH₃の生成率が最大になる。

【0036】次に、本実施形態のNO_x吸蔵還元触媒7について説明する。本実施形態のNO_x吸蔵還元触媒7は、例えばアルミナを担体とし、この担体上に例えばカリウムK、ナトリウムNa、リチウムLi、セシウムCsのようなアルカリ金属、バリウムBa、カルシウムCaのようなアルカリ土類、ランタンLa、セリウムCe、イットリウムYのような希土類から選ばれた少なくとも一つの成分と、白金Ptのような貴金属とを担持したものである。NO_x吸蔵還元触媒は排気の空気過剰率λが1より大きいときに、排気中のNO_x（NO₂、NO）を硝酸イオンNO₃⁻の形で吸収する性質を有している。

【0037】すなわち、担体上に白金Pt及びバリウムBaを担持させた場合を例にとって説明すると、流入排気中の酸素濃度が増大すると（すなわち排気の空気過剰率λが1より大きくなる（リーンに）になると）、これら酸素が白金Pt上にO₂⁻またはO²⁻の形で付着し、排気中のNOは白金Pt上のO₂⁻またはO²⁻と反応し、NO₂となる。また、流入排気中のNO₂及び上記により生成したNO₂は白金Pt上で更に酸化されつつ触媒に吸収されて酸化バリウムBaOと結合しながら硝酸イオンNO₃⁻の形で触媒内に拡散する。このため、λ>1.0の条件下では排気中のNO_xがNO_x吸蔵還元触媒7内に吸収されるようになる。

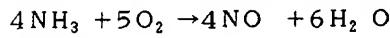
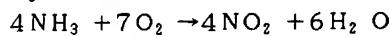
【0038】また、流入排気中の酸素濃度が大幅に低下すると（すなわち、排気の空気過剰率λが1以下（リッチ）になると）、白金Pt上でのNO₂生成量が減少するため、反応が逆方向に進むようになり、触媒内の硝酸イオンNO₃⁻はNO₂の形で触媒から放出されるようになる。この場合、排気中にNH₃、CO、H₂等の還元成分やHC、CO₂等の成分が存在すると白金Pt上

でこれらの成分により NO_x が還元される。前述したように、本実施形態では追加燃料噴射を実施した場合には、排気中には多くの HC 、 CO 、 CO_2 成分や水性反応により生成される H_2 が含まれるようになる。また、前述したように排気中の NO_x の一部は H_2 、 CO 等と反応して NH_3 を生成する。従って、追加燃料噴射実施時には NO_x 吸収還元触媒から放出された NO_x は排気中に含まれる HC 、 CO 、 H_2 、 NH_3 により N_2 に還元されるようになる。また、 NH_3 は還元性が強いため排気中の NH_3 の量が多いほど放出された NO_x の還元が良好になる。

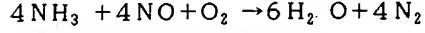
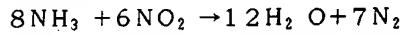
【0039】なお、 NO_x 吸収還元触媒はリッチ空燃比下で、三元触媒と全く同一の反応により排気中の NO_x の一部を NH_3 に転換する機能を有している。従って、三元触媒に代えて NO_x 吸収還元触媒を NH_3 生成手段として使用することも可能である。 NO_x 吸収還元触媒を NH_3 生成手段として使用する例については後述する。

【0040】次に、本実施形態の NH_3 吸着脱硝触媒9について説明する。本実施形態では触媒9としては、コーチェライト等の担体上に形成したアルミナ等のウォッシュコート層に、例えば、銅Cu、クロムCr、ヴァナジウムV、チタンTi、鉄Fe、ニッケルNi、コバルトCo、白金Pt、パラジウムPd、ロジウムRh、イリジウムIr等の元素周期表第4周期または第VIII族に含まれる遷移元素の中から選ばれた1つ以上の物質を触媒成分として担持させたものが用いられる。また、本実施形態では触媒9に NH_3 の吸着性能を持たせるために担体上に上記の触媒成分の他に後述する NH_3 吸着成分を担持させている。

【0041】この NH_3 吸着脱硝触媒は、担持した触媒成分により定まる所定の温度範囲では、酸化雰囲気 ($\lambda > 1.0$) の排気中に含まれる NH_3 成分を略完全に N_2 に転換、浄化する機能を有する。すなわち、上記触媒9では、所定温度範囲の酸化雰囲気において触媒中に NH_3 の酸化反応



と同時に、



の脱硝反応が生じるようになる。

【0042】このため、酸化反応で生成された NO_x が排気中の NH_3 と反応し直ちに脱硝反応により分解される逐次反応が生じ、結果として NH_3 の全量が N_2 に転換されるようになるのである。また、この最適温度範囲では、流入する排気中に NH_3 とともに NO_x が含まれていると、 NH_3 とともに NO_x が脱硝反応により浄化され N_2 に転換されるようになる。この場合、流入する排気中の NH_3 の量は流入する排気中の NO_x の全量を脱硝反応により還元できる量以上であれば、余剰の NH_3

は上記の酸化反応とそれに続く脱硝反応により N_2 に転換されるため、 NH_3 吸着脱硝触媒下流側に余剰の NH_3 が排出されることではなく、排気中に NH_3 以外に HC 、 CO 成分等が含まれる場合でも、排気の空気過剰率 λ が1より大きければ HC 、 CO 成分は NH_3 吸着脱硝触媒9上で酸化され、 NH_3 吸着脱硝触媒9下流側には流出しない。

【0043】上記所定温度範囲は、通常の三元触媒などの使用温度領域に較べて比較的低温であり、例えば触媒成分として白金Pt、パラジウムPd、ロジウムRh等を担持させた場合には約100°C～400°Cの範囲である。(白金Ptでは、100°Cから300°Cの範囲が更に良好な温度範囲であり、100°Cから250°Cの範囲で特に良好な結果が得られる。またパラジウムPd、ロジウムRhの場合には150°Cから400°Cが更に良好な温度範囲であり、150°Cから300°Cでは特に良好な結果が得られる。) また、クロムCr、銅Cu、鉄Fe等を担持させた場合には最適温度範囲は約150°C～650°Cの範囲であり、150°Cから500°Cの範囲では更に良好な結果が得られる。

【0044】 NH_3 吸着脱硝触媒9温度が上記温度範囲以上になると、 NH_3 吸着脱硝触媒中では NH_3 の酸化反応が支配的になり、触媒下流側に排出される NO_x の割合が増大するようになる。また、上記温度範囲以下では、 NH_3 の酸化反応が低下するため流入する排気中の NH_3 のうち、触媒9を通過してそのまま下流側に排出される NH_3 の割合が増大するようになる。以下に説明する各実施形態においては、 NH_3 吸着脱硝触媒9は流入する排気温度が上記温度範囲になるように機関1からの排気通路長さが設定されている。また、排気通路外壁に冷却フィンや冷却水ジャケットを設けて NH_3 吸着脱硝触媒9の温度が上記温度範囲になるように調整しても良い。

【0045】次に、 NH_3 吸着脱硝触媒9に担持した NH_3 吸着成分について説明する。本実施形態では NH_3 吸着脱硝触媒9に NH_3 の吸着作用を行なわせるため、 NH_3 吸着成分を添加されている。一般に、酸性無機成分(ゼオライト、シリカ SiO_2 、シリカアルミナ $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、チタニア等のブレンステッド酸、及び銅Cu、コバルトCo、ニッケルNi、鉄Fe等の遷移金属の酸化物等のルイス酸を含む)は NH_3 を吸着する性質を有し、特に温度が比較的低い領域では NH_3 を良く吸着することが知られている。本実施形態では、 NH_3 吸着脱硝触媒9に上記の酸性無機成分を担持させるか、或いは上記酸性無機成分を含む材料で多孔質を形成して NH_3 吸着脱硝触媒成分の担体として使用するようしている。これにより、流入する排気中の NH_3 濃度が高い場合には NH_3 が NH_3 吸着脱硝触媒9の酸性無機成分に吸着される。また、流入する排気中の NH_3 濃度が低下すると酸性無機成分に吸着された NH_3 が放出

される。すなわち、 NH_3 吸着脱硝触媒9は、排気中の NH_3 濃度が高いときに NH_3 を吸収しておき、排気中に NH_3 が存在しない場合でも吸収した NH_3 を放出し前述の脱硝反応を行うことにより排気中の NO_x を浄化することができる。

【0046】なお、 NH_3 吸着脱硝触媒9としては、上記のもの以外にも例えばゼオライト系脱硝触媒を使用することができる。ゼオライト系脱硝触媒としては、例えばゼオライトZSM-5にFe、Cu、Pt等の金属をイオン交換して担持させた、鉄-ゼオライト触媒、銅-ゼオライト触媒、白金-ゼオライト触媒、或いはモルデナイト等のゼオライトに白金Pt等の貴金属、または白金Ptとともに銅Cuを担持させた白金-モルデナイト触媒、白金-銅-モルデナイト触媒等が使用される。このゼオライト系脱硝触媒は、排気中の NH_3 、HC、CO成分等をゼオライトの多孔質細孔内に吸着し、この吸着した NH_3 成分（及び排気中の NH_3 成分）により、酸化雰囲気下でも排気中の NO_x 成分を脱硝反応により選択的に還元浄化することが可能な触媒である。

【0047】次に、図1の実施形態の排気浄化作用について説明する。なお、本明細書において、「燃焼空燃比」（あるいは「燃焼空気過剰率」）とは、前述の均一混合気燃焼においては、気筒内混合気全体の空燃比（空気過剰率）を、層状給気においては、混合気層内の空燃比（空気過剰率）を、それぞれ意味するものとする。

【0048】本実施形態では、通常の運転時は#1から#4のいずれの気筒もリーン空燃比燃焼を行う。このとき、各気筒の燃焼空燃比は発生する NO_x 量ができるだけ少なくなる領域（例えば $\lambda = 1.4$ ）に設定される。また、通常の運転時にはいずれの気筒でも追加燃料噴射を実施しない。従って、通常の運転時は各気筒から排出される排気の空燃比はリーンであり、比較的少量の NO_x を含んでいる。

【0049】このリーン空燃比排気は三元触媒5に流入するが、図3で説明したように三元触媒5ではリーン空燃比では NO_x の浄化率が急激に低下するため、排気中の NO_x の大部分は浄化されることなく三元触媒5を通過し、下流側の NO_x 吸収還元触媒7に流入する。一方、前述したように NO_x 吸収還元触媒7はリーン空燃比下では排気中の NO_x を吸収するため、三元触媒5を通過したリーン空燃比の排気中の NO_x が NO_x 吸収還元触媒に吸収される。

【0050】すなわち、通常運転時には機関1の各気筒で発生する NO_x は NO_x 吸収還元触媒7に一時的に貯蔵される。従って、通常運転が続くと NO_x 吸収還元触媒7に吸収された NO_x 量が増大してしまい、 NO_x 吸収還元触媒7が飽和する可能性がある。そこで、本実施形態では NO_x 吸収還元触媒7に吸収された NO_x の量が増大すると、短時間全気筒で追加の筒内燃料噴射を実施して各気筒から排出される排気の空燃比をリッチにす

る。このように、排気空燃比をリッチにすることにより、三元触媒5では排気中の NO_x の一部が前述の反応により NH_3 に転換されるようになる。このため、三元触媒5下流側の NO_x 吸収還元触媒7には、リッチ空燃比であり、かつ還元成分である NH_3 を含む排気が流入する。これにより、 NO_x 吸収還元触媒7に吸収された NO_x が放出され、触媒7上で排気中の NH_3 やHC、CO成分と反応し還元浄化される。すなわち、本実施形態では、通常運転中に定期的に短時間追加燃料噴射を行い気筒から排出される空燃比をリッチ空燃比にすることにより、 NO_x 吸収還元触媒7に吸収された NO_x を放出させ、還元浄化する（なお、本明細書では NO_x 吸収還元触媒7から NO_x を放出させるために短時間排気空燃比をリッチにする操作を「リッチスパイク」と呼ぶ）。上記のように、リッチスパイク運転中は NO_x 吸収還元触媒7から放出された NO_x の全量を浄化するためにできるだけ多くの NH_3 が必要とされる。このため、本実施形態ではリッチスパイク運転時に NH_3 の原料としての NO_x の量を増大させるため、#1から#4の各気筒の燃焼空燃比は NO_x 生成量が最大となる空燃比（空気過剰率 $\lambda = 1.2$ 程度、図4参照）に設定される。また、追加燃料噴射では、気筒から排出される排気の空燃比が三元触媒5で NH_3 生成率が最大になるように（例えば空気過剰率 $\lambda = 0.95$ になるように、図3参照）燃料噴射量が設定される。

【0051】次に、本実施形態における NH_3 吸着脱硝触媒9の機能について説明する。本実施形態ではリッチスパイク運転時に三元触媒5で比較的多量の NH_3 が生成されるため、 NO_x 吸収還元触媒7で NO_x の還元に消費されなかった余剰の NH_3 が下流側に流出する場合がある。一方、通常運転時には NO_x 吸収還元触媒7で吸収されなかった僅かな量の NO_x が下流側に流出する場合がある。このため、 NH_3 吸着脱硝触媒9にはリッチスパイク時には少量の NH_3 を含む排気が流入し、通常運転時には微量の NO_x を含むリーン空燃比の排気が流入する。従って、本実施形態の NH_3 吸着脱硝触媒9は、リッチスパイク時には NO_x 吸収還元触媒7から流出する NH_3 を吸収し、通常運転時には吸収した NH_3 を用いて NO_x 吸収還元触媒7を通過して来る微量の NO_x を浄化する作用を行う。このように、本実施形態では NH_3 吸着脱硝触媒9を NO_x 吸収還元触媒7の下流側に設けたことにより、 NO_x の浄化率を向上させていく。

【0052】上述のように、本実施形態では追加燃料噴射を実施することにより三元触媒5での NH_3 生成量を増大させている。以下に、図4、図5を用いて追加燃料噴射により NH_3 生成量が増大する理由を説明する。図4点線は気筒内の燃焼により生成される NO_x 量（濃度）と燃焼時の空気過剰率 λ との関係を説明する図である。図4点線に示すように、気筒内の燃焼により生成さ

れる NO_x の量は燃焼時の空気過剰率 λ が小さい領域では、空気過剰率 λ が大きくなるにつれて増大し、 $\lambda = 1.2$ 付近で最高になるが、その後は λ が大きくなるにつれて減少する。図1の実施形態では、追加燃料噴射を実施しない場合には、この排気がそのまま三元触媒5に流入することになり、三元触媒5に流入する排気の空気過剰率 λ は気筒の燃焼時の空気過剰率に等しくなる。ところが、三元触媒5における NH_3 生成率は、図3に示したように変化するため、三元触媒5出口における排気の NH_3 濃度は気筒の燃焼時の空気過剰率 λ に応じて図4に実線で示したように変化する。すなわち、気筒の燃焼空気過剰率 λ が 1.0 より大きい領域では三元触媒5の NH_3 生成率がほぼ0になるため、 NH_3 は生成されない。また、燃焼空気過剰率 λ が 1.0 以下の領域では λ が低下するほど三元触媒5の NH_3 生成率が増大するものの、気筒で生成される NO_x 量が急激に減少するため NH_3 の生成量自体は比較的小さくなる。また、 $\lambda = 0.95$ 以下の領域では NH_3 生成率は最大になるが、気筒で生成される NO_x 量はさらに減少するため NH_3 の生成量は λ が低下するほど減少する。このため、図4に点線で示したように三元触媒5の NH_3 生成量は気筒の燃焼空気過剰率 λ が 0.95 付近で最大になるが生成量自体は比較的小さくなる。

【0053】すなわち、気筒の燃焼空気過剰率 λ と三元触媒5に供給する排気の空気過剰率 λ が同一の場合には、三元触媒5で NH_3 を生成するために気筒の燃焼空気過剰率を 1 より小さくする必要がある。このため、気筒では燃焼時に NH_3 の原料としての NO_x を十分に生成することができなくなり三元触媒5での NH_3 生成量も少なくなってしまう。

【0054】これに対して、図5は追加燃料噴射を実施した場合の NH_3 生成量を示す図4と同様な図である。追加燃料噴射を実施する場合には気筒の燃焼空気過剰率 λ とは独立に三元触媒に供給される排気の空気過剰率を制御することができる。このため、気筒の燃焼空気過剰率 λ は NO_x 生成量が最大になる $\lambda = 1.2$ に固定しながら、三元触媒5に流入する排気の空気過剰率を $\lambda < 1.0$ にすることが可能となる。このため、この場合の三元触媒5における NH_3 生成量は図5に実線で示したようになる。すなわち、この場合には三元触媒5に流入する排気の空気過剰率にかかわらず排気中の NO_x 量は最大値（ $\lambda = 1.2$ ）に固定することができるため、三元触媒5での NH_3 生成量は図3の NH_3 生成率と同様な変化をすることになる。このため、 NH_3 生成率が最大になる $\lambda = 0.95$ 付近では三元触媒5で多量の NH_3 が生成されるようになる。

【0055】更に、本実施形態では追加燃料噴射実施時には、三元触媒に供給される排気中に燃料のクラッキングにより生じた低分子量のHC成分が多く含まれる。低分子量のHC成分は高分子量のHCに較べて反応性が高

いため、三元触媒上で水性反応により容易にCO、H₂ 等の成分を生成する。前述したように、 NO_x を NH_3 に転換するためにはCO、H₂ 等が必要とされるため、追加燃料噴射を実施することにより、 NH_3 生成のためのCO、H₂ 等が多く三元触媒に供給されるようになり、排気中の NO_x のうち NH_3 に転換される割合が向上する効果を得ることができる。また、追加燃料噴射により生成した低分子量のHCやCO、H₂ 等の成分は、それ自体でも NO_x 吸収還元触媒や NH_3 吸着脱硝触媒上で良好に NO_x を還元する。このため、追加燃料噴射により生成した低分子量のHCやCO、H₂ 等のうち三元触媒上で NH_3 に転換されなかったものも、下流側の NO_x 吸収還元触媒や NH_3 吸着脱硝触媒で有効に NO_x の還元に使用されるようになる。

【0056】本実施形態では、上述のようにリッチスパイク運転時には各気筒の燃焼空気過剰率を $\lambda = 1.2$ に設定するとともに、追加燃料噴射を実施して気筒から三元触媒に供給される排気の空燃比を $\lambda = 0.95$ に調整することにより、三元触媒5で生成される NH_3 の量を最大限まで増大することを可能としている。図6は本実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。本操作は、制御回路30により一定時間毎に実行されるルーチンにより行われる。

【0057】図6においてルーチンがスタートすると、ステップ601では現在リーン運転フラグFLの値が1に設定されているか否かが判定される。リーン運転フラグFLは、リッチスパイクを実行するか否か、すなわち追加燃料噴射を実施するか否かを表すフラグであり、FL=1はリッチスパイクを実行せず気筒からの排気をリーン空燃比のまま三元触媒5に流入させる状態を意味している。フラグFLの値は後述するステップ609、ステップ617で設定される。

【0058】ステップ601でFL=1であった場合には、ステップ603とステップ605とで現在 NO_x 吸収還元触媒7が吸収している NO_x 量FNOXが算出される。本実施形態では、予め機関の負荷条件（吸入空気量Q、機関回転数N）を変えて単位時間（例えば図6のルーチンの実行間隔）当たりの NO_x 発生量を実測し、制御回路30のROMに数値テーブルの形で格納してあり。ステップ603では機関の吸入空気量Qと回転数Nとから単位時間当たり NO_x 発生量ANOXを読み出すとともに、ステップ605で、このANOXの積算を行う。 NO_x 吸収還元触媒7に単位時間当たりに吸収される NO_x 量は NO_x 吸収還元触媒7に単位時間当たりに流入する NO_x 量に比例すると考えられるため、上記ANOXの積算値FNOXは現在 NO_x 吸収還元触媒7に吸収されている NO_x 量を表すパラメータとなる。

【0059】上記により NO_x 吸収量FNOX算出後、ステップ607では現在の NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量FNOXが所定値FNOX₀ に到達したか否か

が判定される。ここで、 $FNOX_0$ は NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収能力が低下し始める NO_x 吸収量より小さな値に設定され、本実施形態では例えば NO_x 吸収還元触媒7の吸収可能な最大 NO_x 量（飽和量）の70%程度の値とされている。

【0060】ステップ607で $FNOX < FNOX_0$ である場合には、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収能力には、まだ余裕がある状態であるためこのままルーチンを終了しリーン空燃比運転を継続する一方、ステップ607で $FNOX \geq FNOX_0$ であった場合には NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収能力が低下し始めている可能性があるためステップ609に進み、リーン運転フラグ FL の値を0にセットするとともに、ステップ611でリッチスパイク期間、すなわち追加燃料噴射を行う期間を規定するカウンタ CT の値を設定する。

【0061】本実施形態では、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量が所定値（例えば、飽和量の70%程度）になったときに空燃比をリッチにして NO_x 吸収還元触媒7から NO_x を放出、還元浄化する。このため、 NO_x 吸収還元触媒7から放出された NO_x の全量を還元浄化できるだけの NH_3 や HC 、 CO 成分を NO_x 吸収還元触媒7に供給してこれらの成分が不足する事がないようにする必要がある。ところが、実際には機関から単位時間当たりに発生する NO_x 成分や HC 、 CO 成分の量は、機関の運転条件（機関吸入空気量 Q 、回転数 N 等）に応じて異なって来る。このため、三元触媒7で単位時間当たりに生成される NH_3 の量も機関の運転条件に応じて異なるようになる。従って、 NO_x 吸収還元触媒7から放出される NO_x の全量を浄化するのに必要な量の NH_3 （及び HC 、 CO ）を三元触媒7で生成させるためには機関運転状態に応じて追加燃料噴射を行う期間を変更する必要がある。つまり、必要な量の NH_3 を生成するためには、例えば機関の単位時間当たりの NO_x 発生量が少ない場合には、追加燃料噴射（すなわち排気の空燃比調整）を行う期間を長く設定し、逆に単位時間当たりの NO_x 発生量が多い場合には排気の空燃比調整期間を短く設定する必要がある。

【0062】本実施形態では、予め $FNOX_0$ に相当する量の NO_x が NO_x 吸収還元触媒7に吸収されていた場合に、この NO_x の全量を還元浄化するのに必要とされる量の NH_3 を NH_3 生成手段で生成するために必要な時間 CT を予め実測し、機関負荷（吸入空気量 Q 、回転数 N ）を用いた数値テーブルの形で制御回路30のROMに格納してある。ステップ611では、この数値テーブルから追加燃料噴射を行うべき期間を読み出し、カウンタ CT にセットしてルーチンを終了する。

【0063】ステップ609でフラグ FL の値が0に設定されると、次のルーチン実行時からステップ701の次にステップ613が実行されるようになる。ステップ613からステップ619では、計時カウンタ CT の

値がルーチン実行毎に Δt づつ減算され（ステップ615、 Δt は本ルーチンの実行間隔）、時間 CT が経過すると（ステップ613で $CT \leq 0$ ）リーン運転フラグ FL の値は1にセットされ（ステップ617）、 NO_x 吸収量パラメータ $FNOX$ の値はクリアされる（ステップ619）。これにより、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量が所定値に到達する毎に、機関運転状態に応じて定まる期間 CT の間、各気筒では追加燃料噴射が実行され、各気筒からの排気の空燃比はリッチ空燃比に調整される。従って、三元触媒7では NH_3 が生成され、 NO_x 吸収還元触媒7には NH_3 を多量に含んだリッチ空燃比の排気が供給される。このため、 NO_x 吸収還元触媒7からは NO_x が放出され、排気中の NH_3 と反応して還元浄化される。

【0064】なお、所定期間 CT 経過後はリーン空燃比運転フラグ FL の値は1に復帰するため（ステップ617）、 NO_x 吸収還元触媒7からの NO_x の放出と還元浄化とが完了した後は追加燃料噴射は停止され、排気空燃比はリーンになる。これにより、 NO_x 吸収還元触媒7は NO_x の吸収を再開する。図7は、本実施形態の燃料噴射制御を示すフローチャートである。本制御は制御回路30により、例えば機関クランク軸一定回転角度毎に実行される。

【0065】図7においてルーチンがスタートすると、ステップ701では、図6で設定されるリーン運転フラグ FL の値が1にセットされているか否かが判定され、 FL の値に応じて主燃料噴射の量が設定される。すなわち、ステップ701で $FL = 1$ （リッチスパイク実行中でない場合）であった場合には、各気筒の燃焼空気過剰率 λ_B は $\lambda_B = \lambda_{LL}$ （ λ_{LL} は、燃焼による NO_x 発生量が少なくなる空気過剰率であり、例えば本実施形態では $\lambda_{LL} = 1.4$ ）に設定される。また、 $FL = 1$ （リッチスパイク実行中）には各気筒の燃焼空気過剰率 λ_B は、各気筒の NO_x 発生量が最大になる空気過剰率 λ_L （ $\lambda_L = 1.2$ ）に設定される。

【0066】ステップ703、705で各気筒の燃焼空気過剰率 λ_B が設定されると、別途制御回路30により実行される図示しないルーチンでは燃焼空気過剰率 λ_B を得るために必要とされる実際の燃料噴射量が、例えば機関の1回転当たりの吸入空気量 Q/N に基づいて算出される。そして、ステップ707で現在いずれかの気筒の主燃料噴射のタイミングか否かが判断され、噴射タイミングであった場合にはステップ709でその気筒の主燃料噴射を実行する。これにより、気筒内ではステップ703またはステップ705で設定した空気過剰率の燃焼が行われる。

【0067】ステップ707で現在主燃料噴射の実行タイミングでない場合には、ステップ711に進み、リーン空燃比フラグ FL の値から追加燃料噴射を実行すべきか否かを判定する。追加燃料噴射を実行すべき場合（ F

$L \neq 1$ の場合には、ステップ713に進み、現在いずれかの気筒が追加燃料噴射タイミングにあるか否かを判定し、いずれかの気筒が噴射タイミングにある場合にはステップ715でその気筒に追加燃料噴射を実行する。この場合、追加燃料噴射量は、別途制御回路30により実行される図示しないルーチンにより、ステップ705で設定された燃焼空気過剰率の排気を三元触媒5で最も NH_3 生成効率が高くなる空気過剰率 λ_A ($\lambda_A \approx 0.95$) にするために必要とされる量に設定される。

【0068】上述のように、図6、図7の操作によれば、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量が所定値に到達する毎に各気筒で追加燃料噴射が実行され、 NO_x 吸収還元触媒7からの NO_x の放出と NH_3 による還元浄化とが行われる。また、追加燃料噴射を実施する期間は、機関の運転状態、例えば機関の単位時間当たりの NO_x 発生量等に応じて設定される。

【0069】なお、本実施形態では三元触媒5により生成される NH_3 の量 (NO_x 吸収還元触媒7に供給される NH_3 の量) は、追加燃料噴射を実行する期間を変更することにより調節しているが、追加燃料噴射を実行する期間の代わりに、気筒からの排気の空燃比を変更することにより調節するようにしても良い。すなわち、図5に示したように、本実施形態では三元触媒5に流入する排気の空気過剰率 λ を $0.95 \sim 1.0$ の間で変更することにより、三元触媒5での NH_3 生成率を最大値から0まで変化させることができる。従って、追加燃料噴射量を変更して三元触媒5に流入する排気の空燃比を調整することにより三元触媒5で単位時間当たりに生成される NH_3 の量を調節することが可能となる。

【0070】この場合、例えば図6ステップ611では機関の運転状態に応じてCTを定める代わりにCTは予め定めた一定値とされる。また、別途実行される燃料噴射量演算ルーチンでは、上記一定期間CTで NO_x 吸収還元触媒7の吸収した NO_x を放出、還元浄化するため必要な単位時間当たりの NH_3 生成量を算出し、この生成量を得るための三元触媒5入口空気過剰率を算出する。そして、追加燃料噴射量は、調整後の排気空気過剰率 λ_A がこの入口空気過剰率になるように設定すればよい。

【0071】また、本実施形態では図1に示したように集合排気通路4上に上流側から三元触媒5、 NO_x 吸収還元触媒7、 NH_3 吸着脱硝触媒9を配置しており、 NO_x の浄化は主として NO_x 吸収還元触媒7によって行われ、 NH_3 吸着脱硝触媒9は補助的な NO_x の浄化を行っている。しかし、 NO_x 吸収還元触媒7と NH_3 吸着脱硝触媒9との位置を入れ替えて、図8に示すように三元触媒5、 NH_3 吸着脱硝触媒9、 NO_x 吸収還元触媒7の順に上流側から配置することにより、主として NH_3 吸着脱硝触媒9に NO_x の浄化を行わせるようすることもできる。この場合には、図11で後述するよ

に、通常運転時（リッチスパイク以外の時期）には各気筒からの排気はリーンとなり、三元触媒5では NH_3 が生成されないため、 NH_3 吸着脱硝触媒9は触媒内に吸着した NH_3 を用いて排気中の NO_x を浄化する。従って、 NH_3 吸着脱硝触媒9内に吸着された NH_3 量は NO_x の浄化に使用され、運転中減少して行く。また、 NH_3 吸着脱硝触媒9下流側に配置された NO_x 吸収還元触媒7は、 NH_3 吸着脱硝触媒9で還元浄化されずに下流側に流出した NO_x を吸収する。このため、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量は時間とともに増大していく。そこで、この場合には NH_3 吸着脱硝触媒9に吸着された NH_3 量が減少して所定値以下になった場合に追加燃料噴射を行って三元触媒5で NH_3 を生成するようになる。これにより、 NH_3 吸着脱硝触媒9には NH_3 を含むリッチ空燃比の排気が流入し、排気中の NH_3 が NH_3 吸着脱硝触媒9に吸着される。また、 NH_3 吸着脱硝触媒9を通過した余剰の NH_3 を含むリッチ空燃比の排気が NO_x 吸収還元触媒7に流入するため、同時に NO_x 吸収還元触媒7からの NO_x の放出と還元浄化とが行われる。なお、 NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量に応じたリッチスパイクの詳細については、図11で説明する。

【0072】図9は本発明の別の実施形態を示す図1と同様な図である。図9の実施形態では NH_3 吸着脱硝触媒9は設けられておらず、機関1の集合排気通路4には上流側から三元触媒5と NO_x 吸収還元触媒7とが配置されているのみである。前述のように、図1の実施形態では排気中の NO_x 浄化は主として NO_x 吸収還元触媒7によって行われている。このため、図1の実施形態に較べて NO_x の浄化効率は多少低下するものの、図9に示すように NH_3 吸着脱硝触媒9を省略して NO_x 吸収還元触媒7のみを使用することにより、装置を簡素化することが可能となる。なお、この場合の排気浄化操作は図6、図7に示したものと同一である。

【0073】次に、図10を用いて本発明の別の実施形態について説明する。図10の実施形態では、 NO_x 吸収還元触媒7は設けられておらず、機関1の集合排気通路4上には上流側から三元触媒5と NH_3 吸着脱硝触媒9のみが配置されている。すなわち、本実施形態では NH_3 吸着脱硝触媒9のみにより排気中の NO_x の浄化を行う。

【0074】前述のように、 NH_3 吸着脱硝触媒9はリーン空燃比の排気中に NH_3 と NO_x とが含まれる時に NH_3 と NO_x とを反応させ NO_x を還元浄化することができる。また、 NH_3 吸着脱硝触媒9には NH_3 吸着成分が担持されているため、 NO_x の還元に使用されなかった余剰の NH_3 を吸着、貯蔵し、排気中に NH_3 が含まれないときにも貯蔵した NH_3 を用いて NO_x を還元浄化することができる。

【0075】本実施形態では、図1の実施形態と同様に

リッチスパイク運転を行い、三元触媒9でNH₃を生成し、NH₃吸着脱硝触媒9にNH₃を吸着させる。NH₃吸着脱硝触媒9は吸着したNH₃を用いて通常運転時のリーン空燃比排気中のNO_xを浄化する。通常運転時には触媒9に吸着されたNH₃はNO_xの浄化に消費され減少する。従って、NH₃吸着脱硝触媒9で適切にNO_xの浄化を行うためには、触媒9の吸着したNH₃の全量が消費されNH₃の不足が生じる前にNH₃を補給する必要がある。そこで、本実施形態では、NH₃吸着脱硝触媒9に吸着されたNH₃の量を推定して、このNH₃量がある下限値まで低下したときに機関のリッチスパイク運転を行いNH₃吸着脱硝触媒9にNH₃を補給するようにしている。これにより、NH₃吸着脱硝触媒9には常に一定量以上のNH₃が吸着されていることになり、NO_xの還元のためのNH₃が不足する事態が防止される。

【0076】図11は、本実施形態における排気浄化操作を説明するフローチャートである。本操作は、制御回路30により一定時間毎に実行されるルーチンにより行われる。図11の操作では、制御回路30は機関からの単位時間当たりのNO_x排出量ANOXに基づいて、NH₃吸着脱硝触媒9の吸着保持するNH₃量INH₃を算出する。そして、このNH₃量INH₃が所定の下限値I₀以下になったときにリッチスパイクを実行し、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量を飽和限界付近の値IFULまで増大させている。

【0077】図11においてルーチンがスタートすると、ステップ1101ではリーン運転フラグFLの値が1にセットされているか否かが判定され、FL=1の場合にはリーン空燃比運転を継続するとともに、ステップ1103で単位時間当たりの機関のNO_x生成量ANOXを機関吸入空気量Qと回転数Nとから算出する。ステップ1101と1103とは図6と同一の操作である。そして、ANOX算出後、ステップ1105ではNH₃吸着脱硝触媒9の現在のNH₃保持量INH₃が、INH₃=INH₃-K×ANOXとして算出される。すなわち、リーン空燃比運転中はNH₃吸着脱硝触媒9は吸着したNH₃を用いて機関から発生するNO_xを還元浄化している。このため、単位時間当たりのNH₃吸着脱硝触媒9内のNH₃の減少量は機関で発生するNO_xの量に比例する。従って、機関全体で単位時間当たりにANOXの量のNO_xが発生する状態では、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量INH₃はK×ANOXだけ減少する(Kは一定値)。ステップ1105では、機関のNO_x発生量に応じてNH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量を減算することにより現在のNH₃吸着量を算出している。

【0078】ステップ1107では、上記により算出した現在のNH₃吸着量INH₃が所定値I₀以下に低下したか否かが判断される。上記所定値I₀は例えば、本

実施形態ではNH₃吸着脱硝触媒9の吸着保持できる最大NH₃量(飽和量)の20~30%程度の値(一定値)に設定される。ステップ1107で吸着量INH₃が所定値I₀より大きい場合にはそのままリーン空燃比運転が継続される。一方、吸着量INH₃が所定値I₀以下になった場合には、NH₃吸着脱硝触媒9にNH₃を補給するためにリッチスパイク運転が実行される。

【0079】すなわち、この場合にはステップ1109でリーン空燃比フラグFLの値が0にセットされるとともに、ステップ1111では機関吸入空気量Qと回転数Nとからリッチスパイク期間、すなわち追加燃料噴射を実行する期間CTHを設定する。図6で説明したように、機関のリッチスパイク運転中のNO_x発生量は機関運転状態に応じて変化する。一方本実施形態ではリッチスパイク運転中にNH₃吸着脱硝触媒9のNH₃保持量を下限値I₀から飽和量付近の値IFULまで増大させるために必要な量のNH₃を三元触媒9で生成する必要がある。このため、本実施形態ではリッチスパイク期間を、NH₃の原料としてのNO_x発生量に応じて変化させている。なお、リッチスパイク期間CTHは、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量をI₀からIFULまで増大させるのに必要な期間であり、予め機関吸入空気量Qと回転数Nとの各組合せに応じて実測等により決定し、制御回路30のROMにQとNとを用いた数値テーブルの形で格納されている。ステップ1111では、吸入空気量Qと回転数Nとに基づいて上記数値テーブルからリッチスパイク時間CTHを決定する。

【0080】ステップ1109でフラグFLが0にセットされると、次回のルーチン実行時からはステップ1113以降が実行されるようになり時間CTHの間追加燃料噴射が実行される。そして、CTH経過後にリーン空燃比フラグFLが1にセットされて追加燃料噴射が停止されリーン空燃比運転が再開するとともに、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量INH₃の値がIFULにセットされる。

【0081】また、本実施形態においても、別途図7の燃料噴射制御ルーチンが実行され、フラグFLの値に応じて主燃料噴射と追加燃料噴射とが実行される。上述のように、図11、図7のルーチンを実行することにより、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量が所定値以下に低下する毎に各気筒で追加燃料噴射が実行されるようになり、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量が飽和量付近まで増大する。また、追加燃料噴射を実施する期間は、機関の運転状態、例えば機関の単位時間当たりのNO_x発生量等に応じて設定される。

【0082】なお、前述のように、図8の実施形態においても図11、図7に説明したと同様な排気浄化操作が実行される。また、本実施形態においてもリッチスパイク期間CTHを機関運転状態に応じて変更する代わりに、機関運転状態に応じて追加燃料噴射量を変更するこ

とにより NH_3 の生成量を制御しても良い。次に、図12から図22を用いて本発明の図1及び図8から図10とは異なる実施形態について説明する。前述のように、図1及び図8から図10の実施形態では機関1の全気筒からの排気が NH_3 生成手段としての三元触媒5を通過するようにされていたが、以下の実施形態では三元触媒5は機関1の一部の気筒の排気通路のみに接続されている点が前述の各実施形態と相違している。

【0083】まず、図12の実施形態について説明する。図12の実施形態では、機関1の#1気筒は排気通路143を介して直接三元触媒5に接続されており、#2から#4の気筒は排気マニホールド131を介して NO_x 吸収還元触媒7に接続されている。また、 NO_x 吸収還元触媒7出口に接続された排気通路141と三元触媒5出口に接続された排気通路142とは互いに合流して集合排気通路4を形成している。更に、集合排気通路4上には NH_3 吸着脱硝触媒9が配置されている。すなわち、本実施形態では三元触媒5は#1気筒の排気中の NO_x を NH_3 に転換して集合排気通路4上の NH_3 吸着脱硝触媒9のみに供給するようにされている。また、前述の各実施形態では各気筒の追加燃料噴射はリッチスパイク時のみ実行されていたが、本実施形態では#1気筒では常時追加燃料噴射が実行される点が相違している。

【0084】次に、本実施形態の排気浄化操作について説明する。本実施形態では、通常の運転時には#2から#4気筒では、 NO_x の発生量が少なくなる空気過剰率（例えば $\lambda = 1.4$ ）の燃焼が行われ追加燃料噴射は実行されない。このため、#2から#4気筒から排気マニホールド131を経由して NO_x 吸収還元触媒7に流入する排気の空燃比はリーンであり、 NO_x 吸収還元触媒7では排気中の NO_x が吸収され、排気から除去される。

【0085】一方、本実施形態では、#1気筒は常時 NO_x の発生量が最も多くなる空気過剰率（ $\lambda = 1.2$ ）の燃焼が行われ、更に燃焼後の既燃ガスには追加燃料噴射が行われて三元触媒5で最も NH_3 生成率が大きくなる空気過剰率（ $\lambda = 0.95$ ）になるように排気の空燃比が調整される。これにより、三元触媒5では排気中の NO_x が還元浄化されるとともに、その一部が NH_3 に転換され比較的多量の NH_3 が生成されるようになる。

【0086】この場合、集合排気通路4には、 NO_x 吸収還元触媒7を通過して NO_x のほとんどが除去されたリーン空燃比（例えば $\lambda = 1.4$ ）の排気が排気通路141から、また三元触媒5を通過した、 NO_x をほとんど含まず比較的多量の NH_3 を含むリッチ空燃比（例えば $\lambda = 0.95$ ）の排気が流入し、互いに混合して NH_3 吸着脱硝触媒9に流入する。このため、 NH_3 吸着脱硝触媒9に流入する排気の空燃比は全体としてリーンであり（例えば $\lambda = 1.3$ ） NO_x 吸収還元触媒7で吸収できなかつた少量の NO_x と三元触媒5で生成された NH_3 とを含んでいる。これにより、 NH_3 吸着脱硝触媒

9上では排気中の NH_3 と NO_x とが反応し NO_x が浄化される。また、 NO_x の浄化に使用されなかった NH_3 は一部が NH_3 吸着脱硝触媒9上で浄化され、一部が NH_3 吸着脱硝触媒9に吸着保持される。このため、 NH_3 吸着脱硝触媒9下流側には NO_x も NH_3 も流出しない。

【0087】一方、通常運転が続くと NO_x 吸収還元触媒7では NO_x 吸収量が増大する。このため、同様 NO_x 吸収還元触媒7が NO_x で飽和する前に触媒7から NO_x を放出させ還元浄化する必要がある。そこで、本実施形態でも図1の実施形態と同様、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量が所定値に到達する毎に短時間#2から#4気筒で追加燃料噴射を実行リッチスパイク運転を行う。これにより、 NO_x 吸収還元触媒7にはリッチ空燃比の排気が流入し、 NO_x が放出され排気中の HC 、 CO 成分により還元浄化される。

【0088】図13、図14は本実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。本操作は、制御回路30により一定間隔で実行されるルーチンにより行われる。図13のフローチャートの各ステップは、図6に説明したものとほぼ同一である。但し、図13において FL2は#2から#4気筒のリッチスパイクを実行するか否かのフラグを表し、FL2=1はリッチスパイクを実行しない状態であることを意味する。また、ステップ1311、ステップ1313のCT2は、リッチスパイク期間を規定するカウンタであり、図6のカウンタCTと同様にCT2の値はステップ1311で機関運転状態（吸入空気量Q、回転数N）に応じて設定される。なお、本実施形態ではCT2の値は、 NO_x 吸収還元触媒7に吸収された FNO_x の量の NO_x を放出、還元浄化するのに必要な時間である。CT2の値は、機関運転状態（ HC 、 CO 等の生成量、排気流量等）により変化するため、図6のCTの場合と同様予め実験を行い、制御回路30のROMに数値テーブルの形で格納されている。

【0089】図13のルーチンを実行することにより、 NO_x 吸収還元触媒7の NO_x 吸収量が所定値 FNO_x に到達する毎に#2から#4気筒が機関運転状態に応じて定まる期間リッチスパイク運転され、 NO_x 吸収還元触媒7から NO_x が放出され、還元浄化される。図14は、本実施形態の燃料噴射制御を示す図7と同様なフローチャートである。本制御は制御回路30により、例えば機関クランク軸一定回転角度毎に実行される。

【0090】図14においてルーチンがスタートすると、ステップ1401では、#1気筒の主燃料噴射における空気過剰率（燃焼時の空気過剰率） λ_{1B} が λ_L に、追加燃料噴射後の空気過剰率（追加燃料噴射後の排気の空気過剰率） λ_{1A} が λ_R に、それぞれ設定される。ここで、 λ_L は NO_x の生成量が最大になる空気過剰率（ $\lambda = 1.2$ ）、 λ_R は触媒5において NH_3 生成率が最

大になる空気過剰率 ($\lambda_R = 0.95$) とされる。また、同様に #2 から #4 気筒の主燃料噴射における λ_{2B} と追加燃料噴射後の空気過剰率 λ_{2A} がそれぞれ λ_{LL} と λ_{RR} に設定される。 λ_{LL} は、#2 から #4 気筒で燃焼による NO_x 発生量が少なくなる空気過剰率 ($\lambda_{LL} = 1.4$)、 λ_{RR} は NO_x 吸収還元触媒 7 からの NO_x の放出と還元浄化のための排気空気過剰率であり、適宜なリッチ空燃比 ($\lambda_{RR} < 1.0$) に設定される。

【0091】ついで、ステップ 1403 から 1409 では #1 気筒が主燃料噴射のタイミングにあるか否か (ステップ 1403) 及び追加燃料噴射タイミングにあるか否か (ステップ 1407) を判定して、これらのタイミングにあるときにはそれぞれ主燃料噴射 (ステップ 1405) 及び追加燃料噴射 (ステップ 1407) が実行される。これにより、#1 気筒では常に $\lambda = \lambda_{LL}$ の燃焼が行われるように主燃料噴射が行われ、更に排気の空気過剰率が $\lambda = 0.95$ になるように追加燃料噴射が行われる。

【0092】また、ステップ 1411 から 1419 では、同様に #2 から #4 気筒の燃料噴射が行われる。ただし、この場合には #2 から #4 気筒の追加燃料噴射 (ステップ 1419) は、前述のフラグ $FL2 = 0$ にセットされている場合にのみ実行される。これにより、#2 から #4 気筒では常時 $\lambda = \lambda_{LL}$ の NO_x 発生量が少ない燃焼が行われるとともに、リッチスパイク時には排気の空気過剰率が $\lambda = \lambda_{RR}$ (リッチ) になるように追加燃料噴射が実行される。なお、図 12 の実施形態では NO_x 吸収還元触媒 7 を排気通路 141 上に配置しているが、 NO_x 吸収還元触媒 7 を、排気通路 4 上の NH_3 吸着脱硝触媒 9 の上流側部分に配置しても同様の排気浄化操作が可能である。

【0093】次に、図 15 を用いて本発明の別の実施形態について説明する。図 12 の実施形態と比較して本実施形態は、 NO_x 吸収還元触媒 7 が排気通路 141 上ではなく、 NH_3 吸着脱硝触媒 9 下流側の集合排気通路 4 上に配置されている点が相違している。本実施形態では、図 8 の実施形態と同様に主として NH_3 吸着脱硝触媒 9 を用いて排気浄化を行い、下流側の NO_x 吸収還元触媒 7 は浄化されずに NH_3 吸着脱硝触媒 9 を通過する少量の NO_x の浄化を行う。

【0094】すなわち、本実施形態においても #1 気筒は常時追加燃料噴射を行い三元触媒 5 では比較的多量の NH_3 が生成される。また、三元触媒 5 を通過した排気は集合排気通路 4 で #2 から #4 気筒のリーン空燃比の排気と混合し、全体としてリーン空燃比の排気となって NH_3 吸着脱硝触媒 9 に流入する。このため、 NH_3 吸着脱硝触媒 9 上では排気中の NH_3 と NO_x とが反応し、 NO_x が還元浄化される。また、浄化されずに NH_3 吸着脱硝触媒 9 を通過した少量の NO_x を含むリーン空燃比の排気は NO_x 吸収還元触媒 7 に流入し、 NO_x

吸収還元触媒 7 により排気中の NO_x が吸収除去される。また、本実施形態においても NO_x 吸収還元触媒 7 が吸収した NO_x で飽和することを防止するために NO_x 吸収還元触媒 7 の NO_x 吸収量が所定値に到達したときに #2 から #4 気筒のリッチスパイク運転を行い、 NO_x 吸収還元触媒 7 からの NO_x の放出と還元浄化とを行う点は図 12 の実施形態と同様である。

【0095】なお、本実施形態の排気浄化操作は、図 13、図 14 に示したものと同一であるため詳細な説明は省略するが、本実施形態では、図 13 ステップ 1303、1305 で NO_x 吸収還元触媒 7 の NO_x 吸収量 F_{NOX} を算出する際に使用する単位時間当たりの機関 NO_x 発生量 AN_{NOX} は、実際に機関で発生する NO_x 量ではなく、機関で発生した NO_x のうち NH_3 吸着脱硝触媒 9 で浄化されずに NO_x 吸収還元触媒 7 に到達する量が使用される。このため、本実施形態における AN_{NOX} の値は図 12 の実施形態のものに較べて大幅に小さくなる。なお、本実施形態においてもこの AN_{NOX} の値は実測に基づいて決定することが好ましい。次に図 16 を用いて本発明の別の実施形態について説明する。

【0096】図 16 に示すように、本実施形態は図 15 の実施形態から NO_x 吸収還元触媒 7 を取り除いた構成となっている。すなわち、本実施形態では三元触媒 5 で生成した NH_3 を用いて NH_3 吸着脱硝触媒 9 のみにより排気を浄化する。本実施形態では、次の 2 種類の方法のいずれか 1 つにより排気浄化を行うことができる。まず、第 1 の排気浄化方法としては、三元触媒 5 で常時 NH_3 を発生させ、#2 から #4 気筒では常時 NO_x 発生量が少ない空気過剰率 ($\lambda = 1.4$) で運転する方法である。これにより、 NH_3 吸着脱硝触媒 9 上で #2 から #4 気筒で発生した NO_x を三元触媒 5 で生成した NH_3 を用いて浄化することができる。

【0097】この場合、#1 気筒では常時 NO_x 発生量が最も大きくなる空気過剰率 ($\lambda = 1.2$) の燃焼が行われるとともに、排気の空気過剰率が三元触媒 5 で最も NH_3 生成率が高くなるように ($\lambda = 0.95$) 追加燃料噴射により調整される。また、#2 から #4 気筒では追加燃料噴射は行われない (すなわち、リッチスパイクは実行しない)。

【0098】次に、本実施形態の第 2 の排気浄化方法としては、通常時には NH_3 吸着脱硝触媒 9 に吸着した NH_3 により全部の気筒で発生する NO_x を浄化し、 NH_3 吸着脱硝触媒 9 の NH_3 吸着量が所定値まで低下した場合に #1 気筒でリッチスパイクを実施して NH_3 吸着脱硝触媒 9 に NH_3 を補給する方法である。図 17、図 18 は本実施形態の上記第 2 の排気浄化方法の操作を説明するフローチャートである。本操作は制御回路 30 により一定時間毎に実行されるルーチンにより行われる。

【0099】本実施形態では、図 11 で説明したのと同様な方法により NH_3 吸着脱硝触媒 9 に吸着されている

NH_3 の量 I_{NH_3} を算出し (ステップ1703、ステップ1705)、 I_{NH_3} が所定値 I_1 以下に低下したときに#1気筒のリーン運転フラグFL1を0にセットするとともに、所定時間CTGの間追加燃料噴射を行い NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量を飽和量近傍の値IFULまで増大させる操作を行う (ステップ1707からステップ1719)。

【0100】また、図18の燃料噴射制御ルーチンでは、#1気筒のリーン空燃比フラグFLの値に応じて#1気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{1B} と#1気筒の追加燃料噴射の有無が決定される。また、#2から#4気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{2B} は常に NO_x 発生量が少ない値 λ_{LL} に設定される。すなわち、図18ステップ1801では#2から#4気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{2B} が λ_{LL} ($\lambda_{LL} \approx 1.4$) に設定され、ステップ1803では#1気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{1B} がフラグFL1の値に応じて λ_{LL} (FL1=1の場合) または λ_L (FL1=0の場合) に設定される。そして、ステップ1809と1811とでは#1から#4のいずれかの気筒が主燃料噴射のタイミングになった場合には上記により設定された空気過剰率の主燃料噴射が行われる。また、ステップ1809でいずれの気筒の主燃料噴射タイミングでもなかった場合には、ステップ1813でフラグFL1の値が1にセットされているか否かを判定し、FL1=0の場合 (すなわち#1気筒で追加燃料噴射を実施する場合) には#1気筒の追加燃料噴射タイミングになると追加燃料噴射が実行される (ステップ1815、1817)。

【0101】これにより、 NH_3 吸着脱硝触媒9では吸着した NH_3 が所定量以下になると#1気筒のリッチスパイクが実施され吸着量が飽和量近傍の値IFULまで増大する。次に、本発明の別の実施形態について図19を用いて説明する。図19の実施形態は、図16の実施形態と同様に三元触媒5と NH_3 吸着脱硝触媒9のみで排気浄化を行うが、#2気筒の排気が NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量に応じて三元触媒5側の排気通路143と排気通路141とのいずれかに選択的に導入されるようになっている点が図16の実施形態と相違する。

【0102】すなわち、図19の実施形態では、#1気筒の排気ポートは排気通路143に直接接続されており、#2気筒の排気ポートは排気通路171に接続されている。また、#2気筒の排気通路171は、排気通路141に接続される排気通路172と三元触媒5上流側の排気通路143に接続される排気通路173とに分岐しており、排気通路172と173との分岐点には切換弁175が設けられている。切換弁175は、ソレノイドアクチュエータ、負圧アクチュエータ等の適宜な形式のアクチュエータ175aを備えている。アクチュエータ175aは、制御回路30からの駆動信号に応じて作動し、排気通路171を排気通路172に連通する位置

(#3、#4気筒側位置) と、排気通路171を排気通路173に連通する位置 (三元触媒5側位置) とに切り換える。これにより、#2気筒の三元触媒5への供給をオン、オフすることが可能となるため、三元触媒5に供給される排気中の NO_x 量、すなわち三元触媒5で生成される NH_3 の量を運転状態に応じて変更することが可能となる。

【0103】本実施形態では、#3、#4気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{3B} 、 λ_{4B} は、燃焼による NO_x 発生量が少ない空気過剰率 λ_{LL} ($\lambda_{LL} \approx 1.4$) に設定されており、追加燃料噴射は実施しない。また、本実施形態では、 NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量に応じて切換弁175を切り換えて NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量を制御する。すなわち、 NH_3 吸着脱硝触媒9の吸着量が低下して所定値 I_1 以下になった場合には、切換弁175を三元触媒5側位置に切り換えて #1と#2気筒の両方の排気を三元触媒5に供給する。そして、#1、#2の気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{1B} 、 λ_{2B} を燃焼により発生する NO_x 量が最大になる空気過剰率 λ_L ($\lambda_L \approx 1.2$) に設定するとともに、両方の気筒で追加の燃料噴射を行い、これらの気筒の排気空気過剰率が三元触媒5で最も NH_3 生成率が高くなる値 λ_R になるように調整する。これにより、三元触媒5では#1と#2との両方の気筒からの排気中の NO_x が NH_3 に転換され、 NH_3 吸着脱硝触媒9には多量の NH_3 が供給されるようになり NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量が急速に増大する。

【0104】一方、 NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量が I_1 より大きいが、飽和量近傍の値IFULより小さい場合には切換弁175は#3、#4気筒側位置に切り換えられ、#1気筒の排気のみが三元触媒5に供給される。また、#2気筒では主燃料噴射の空気過剰率 λ_{2B} は λ_{LL} に設定され追加燃料噴射は停止される。これにより、三元触媒5では#1気筒のみの排気中の NO_x が NH_3 に転換されるようになる。これにより、 NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量は比較的緩やかに増大 (または減少) するようになる。

【0105】更に、 NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量が飽和量近傍の値IFUL以上になった場合には#1気筒の追加燃料噴射も停止され、#1気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{1B} も#2から#4気筒と同様に入 λ_{LL} に設定される。これにより、三元触媒5では NH_3 が生成されなくなり NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量は比較的急速に減少する。

【0106】図20は、本実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。本操作は、制御回路30により一定時間毎に実行されるルーチンにより行われる。図20においてルーチンがスタートすると、ステップ2001では NH_3 吸着脱硝触媒9の現在の NH_3 吸着量 I_{NH_3} が飽和量近傍の所定値IFUL以上か否か

が判定され、 $I_{NH_3} \geq I_{FUL}$ であった場合にはステップ2003でフラグFRの値を0にセットし、ステップ2005では機関運転状態（吸入空気量Q、回転数N）に基づいて機関の単位時間当たりの NO_x 発生量BNOXを算出する。なお、後述するようにフラグFRの値が0にセットされると、別途実行される燃料噴射制御ルーチンでは、#1から#4のすべての気筒の主燃料噴射の空気過剰率が λ_{LL} になるように設定され、#1、#2気筒の追加燃料噴射は停止される。また、BNOXは前述の各実施形態における NO_x 発生量ANOXとは異なり、機関全体の NO_x 発生量ではなく1気筒当たりの NO_x 発生量を表している。発生量BNOXは、予め実測等により求められ、Q、Nを用いた数値テーブルとして制御回路30のROMに格納されている。

【0107】そして、ステップ2007では、上記により算出したBNOXを用いて NH_3 吸着脱硝触媒9の現在の NH_3 吸着量 I_{NH_3} が、 $I_{NH_3} = I_{NH_3} - K \times 4 \times BNOX$ として算出される。すなわち、この場合には前回ルーチン実行時から、4気筒分の NO_x を浄化するために消費された NH_3 量($K \times 4 \times BNOX$)だけ NH_3 吸着量が減少する。

【0108】また、ステップ2001で $I_{NH_3} < I_{FUL}$ であった場合には次にステップ2009で、現在の吸着量 I_{NH_3} が所定値 I_1 以下であるか否かが判定される。ここで、 I_1 は吸着量の許容下限値である。ステップ2009で、 $I_{NH_3} > I_1$ であった場合にはステップ2011でフラグFRの値は1にセットされ、ステップ2013では切換弁175は#3、#4気筒側位置に切り換えられる。これにより三元触媒5には#1気筒からの排気のみが供給される。また、ステップ2015では#2から#4の各気筒の1気筒当たりの NO_x 発生量BNOXが算出され、更にステップ2017では#1気筒からの排気により三元触媒5で単位時間当たりに生成される NH_3 量 BNH_3 が機関運転状態（吸入空気量Q、回転数N）に基づいて算出される。なお、フラグFRが1にセットされると、#1気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{1B} は λ_L に設定されるとともに#1気筒の追加燃料噴射が実行される。また、#2気筒の主燃料噴射の空気過剰率 λ_{2B} は#3、#4気筒と同じ λ_{LL} に設定され、#2気筒では追加燃料噴射は停止される。

【0109】そして、ステップ2019では NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量 I_{NH_3} が、 $I_{NH_3} = I_{NH_3} + BNH_3 - K \times 3 \times BNOX$ として算出される。すなわち、この場合には I_{NH_3} は#1気筒の排気中の NO_x により生成された NH_3 量 BNH_3 だけ増大し、#2から#4の3気筒分の排気に含まれる NO_x 量($3 \times BNOX$)を浄化するのに消費された NH_3 量だけ減少する。

【0110】一方ステップ2009で $I_{NH_3} \leq I_1$ であった場合には、ステップ2021でフラグFRの値が

2にセットされ、ステップ2023では切換弁175が三元触媒5側位置に切り換えられる。これにより、三元触媒5には#1気筒と#2気筒との両方の気筒の排気が供給されるようになる。また、フラグFRの値が2にセットされると、#1気筒に加えて#2気筒でも主燃料噴射の空気過剰率 λ_{2B} は λ_L に設定され、#2気筒でも追加燃料噴射が実施されるようになる。

【0111】さらに、ステップ2025から2029では NH_3 吸着脱硝触媒9の NH_3 吸着量 I_{NH_3} がステップ2015から2019と同様な方法で算出される。ただし、この場合には、 I_{NH_3} は、 $I_{NH_3} = I_{NH_3} + 2 \times BNH_3 - K \times 2 \times BNOX$ として算出される。すなわち、 I_{NH_3} は#1気筒と#2気筒との2気筒分の排気から生成される NH_3 量($2 \times BNH_3$)だけ増大し、#3と#4との2気筒分の排気に含まれる NO_x を浄化するのに必要な量($K \times 2 \times BNOX$)だけ減少することになる。

【0112】図21、図22は上記フラグFRの値に応じた燃料噴射を行う燃料噴射制御を説明するフローチャートである。本操作も制御回路30により一定クランク回転角度毎に実行されるルーチンにより行われる。図21においてステップ2101からステップ2125は各気筒の主燃料噴射制御を示している。すなわち、ステップ2101では#3気筒と#4気筒の主燃料噴射による空気過剰率 λ_{3B} 、 λ_{4B} とが λ_{LL} になるように主燃料噴射の燃料噴射量が設定され、ステップ2103、2105では#3気筒と#4気筒の主燃料噴射タイミングになると、上記により設定された量の燃料が噴射される。

【0113】また、ステップ2107から2115ではフラグFRの値が0か否かに応じて#1気筒の主燃料噴射における燃料噴射量が設定され、#1気筒の主燃料噴射タイミングになると設定された量の燃料が噴射される。ここで、#1気筒の主燃料噴射による空気過剰率 λ_{1B} は、 $FR = 1$ または2の場合（#1気筒で追加燃料噴射を行う場合）には $\lambda_{1B} = \lambda_L$ に設定され（ステップ2109）、 $FR = 0$ の場合（#1気筒で追加燃料噴射を行わない場合）には $\lambda_{1B} = \lambda_{LL}$ に設定される（ステップ2111）。

【0114】また、同様にステップ2117から2125では、#2気筒の主燃料噴射における燃料噴射量がFRの値が1か否かに応じて設定され、#2気筒の主燃料噴射タイミングになると設定された量の燃料が噴射される。ここで、#2気筒の主燃料噴射による空気過剰率 λ_{2B} は、 $FR = 1$ の場合（#2気筒で追加燃料噴射を行わない場合）には $\lambda_{2B} = \lambda_{LL}$ に設定され（ステップ2119）、 $FR = 2$ の場合（#2気筒で追加燃料噴射を行う場合）には $\lambda_{2B} = \lambda_L$ に設定される（ステップ2121）。

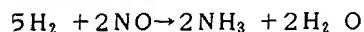
【0115】上記各気筒の主燃料噴射の設定終了後、図22ステップ2127からステップ2141では#1気

筒と#2気筒の追加燃料噴射制御が行われる。すなわちステップ2127ではフラグFRの値が0か否かが判断され、FR=0の場合(#1、#2気筒で追加燃料噴射を実施しない場合)には以下のステップを実行せずそのままルーチンを終了する。また、ステップ2127でFR≠0(すなわちFR=1または2であり、#1気筒で追加燃料噴射を実施する場合)にはステップ2129で#1気筒の追加燃料噴射後の排気空気過剰率 λ_{1A} が λ_R になるように#1気筒の追加燃料噴射量が設定されるとともに、ステップ2131、2133では#1気筒の追加燃料噴射タイミングになると上記により設定した量の燃料が#1気筒に噴射される。また、ステップ2135ではフラグFRの値が1にセットされているか否かが判断され、FR=1の場合(すなわち、#2気筒で追加燃料噴射を行わない場合)にはそのままルーチンを終了する。また、ステップ2135でFR≠1(すなわち、FR=2であり、#2気筒で追加燃料噴射を実施する場合)には、ステップ2137で#2気筒の追加燃料噴射後の排気空気過剰率 λ_{2A} が λ_R になるように#2気筒の追加燃料噴射量が設定され、ステップ2139、2141では#2気筒の追加燃料噴射タイミングになると、上記により設定された量の燃料が#2気筒に噴射される。

【0116】上述のように、本実施形態によればNH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量を常に一定の範囲に維持するように三元触媒5のNH₃生成量が制御されるため、NH₃吸着脱硝触媒9のNH₃吸着量が常に適切な値に維持されるようになる。

【0117】次に、本発明の別の実施形態について説明する。前述の図1、図8から図10、及び図12、図15、図16、図19の各実施形態では、NH₃生成手段として三元触媒5を使用していた。しかし、以下に説明する実施形態ではNH₃生成手段として、三元触媒の代わりにNO_x吸蔵還元触媒を使用する点が前述の各実施形態と相違する。

【0118】NO_x吸蔵還元触媒は、前述のようにリーン空燃比下で排気中のNO_xを吸収し、リッチ空燃比下で吸収したNO_xを放出するとともに還元浄化するNO_xの吸放出作用を行う。ところが、NO_x吸蔵還元触媒は上記NO_xの吸放出作用の他に、リッチ空燃比下では三元触媒と同様に



の反応によりNO_xをNH₃に転換する作用を有することが判明している。

【0119】また、上記NH₃の原料となるNO_xは、外部からNO_x吸蔵還元触媒に供給されるNO_x(すなわち、リッチ空燃比の排気中に含まれるNO_x)とNO_x吸蔵還元触媒内部に吸蔵されたNO_x(リッチ空燃比下でNO_x吸蔵還元触媒から放出されるNO_x)との両方が使用されることが判明している。このため、NH₃生成手段としてNO_x吸蔵還元触媒を使用した場合に

は、排気中のNO_xに加えてNO_x吸蔵還元触媒に吸蔵されたNO_xをもNH₃生成の原料として使用することができるようになり、三元触媒をNH₃生成手段として使用した場合に較べて同一条件下で更に多量のNH₃を発生させることができる。

【0120】図23から図27は、NH₃生成手段としてNO_x吸蔵還元触媒を使用した場合の本発明の実施形態の概略構成を示す図である。これらの実施形態のうち、図23から図26は機関の全部の気筒からの排気がNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒を通過する構成を、図27は、特定の気筒の排気のみがNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒に供給され、NH₃生成手段通過後の排気が他の気筒からの排気と合流する構成を、それぞれ示している。なお、以下の各実施形態の図で、図1、図8から図10、図12、図15、図16、図19と同一の参照符号はこれらの図面のものと同一の要素を示している。

【0121】まず、図23について説明する。本実施形態では、機関1の気筒は、#1と#4気筒は排気マニホールド133aを介して排気枝管4aに、#2と#3気筒は排気マニホールド133bを介して排気枝管4bに、それぞれ接続され、排気枝管4aと4bとは排気管4に合流している。また、排気枝管4a、4b上には、それぞれNH₃生成手段として機能するNO_x吸蔵還元触媒70a、70bが配置されている。また、排気管4には上流側からNO_x吸蔵還元触媒7、NH₃吸着脱硝触媒9が配置されている。なお、図23から27では、NH₃生成手段として機能させるNO_x吸蔵還元触媒は参照符号70(又は70a、70b)で表しており、主としてNO_xの吸放出作用のみを行うNO_x吸蔵還元触媒7と区別している。

【0122】なお、本実施形態では、全気筒が常に同一の空燃比で運転される。すなわち、図23では、機関1の気筒は排気の干渉を避けて排気効率を向上させるために#1、#4と#2、#3の2つの気筒グループ毎に排気枝管4a、4bを独立して設けているが、それぞれの枝管4a、4bには同一のNH₃生成手段(NO_x吸蔵還元触媒70a、70b)が配置されている。このため、図23の実施形態は実質的に図1の実施形態と同一になる。

【0123】また、本実施形態の排気浄化操作は、図1の実施形態と全く同一であり、図6、図7の操作が行われる。すなわち、機関1は通常全気筒がリーン空燃比で運転され、NO_x吸蔵還元触媒7とともに上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bにより排気中のNO_xが吸収される。そして、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量が所定値に到達すると所定期間全気筒で追加燃料噴射を行う。これにより、NH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70bにはNO_xを多く含むリッチ空燃比の排気が供給され、NO_x吸蔵還元触

媒70a、70bから吸収したNO_xが放出される。そして、排気中のNO_xと放出されたNO_xとの両方がNO_x吸蔵還元触媒70a、70b上でNH₃に転換され、多量のNH₃が発生する。下流側のNO_x吸蔵還元触媒7から放出されたNO_xが、このNH₃により還元される点は図1の実施形態と同様である。

【0124】なお図6の排気浄化操作では、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bについては三元触媒と全く同一のNH₃生成手段として扱っており、NO_x吸蔵還元触媒70a、70bによるNO_xの吸収を考慮していない。しかし、実際にはNO_x吸蔵還元触媒70a、70bはリーン空燃比運転時にはNO_xを吸収しており、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に吸収されるNO_x量は図1の場合より少なくなっている。この、NO_x吸蔵還元触媒70a、70bによるNO_xの吸収を考慮した排気浄化操作については後述する(図28)。

【0125】図24の実施形態は、NH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70b下流側の排気通路4に、上流側からNH₃吸着脱硝触媒9、NO_x吸蔵還元触媒7を設けた実施形態を示している。図24の実施形態は図8の実施形態と実質的に同一となり、排気浄化操作についても同一であるためここでは詳細な説明は省略する。

【0126】図25はNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70b下流側の排気通路4上にNO_x吸蔵還元触媒7のみを設けた実施形態を、また図26はNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70b下流側の排気通路4上にNH₃吸着脱硝触媒9のみを設けた実施形態を示している。図25、図26の実施形態は、それぞれ図9、図10の実施形態と実質的に同一であり、排気浄化操作についても図9、図10とそれぞれ同一の操作が行われるため、ここでは詳細な説明は省略する。

【0127】図27は、特定気筒の排気のみをNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70に供給し、NH₃生成後の排気を他の気筒からの排気と合流させる場合の実施形態を示している。図27の実施形態は、図12の実施形態の三元触媒5をNO_x吸蔵還元触媒7に置き換えた点以外は図12と同一であり、図12の場合と同一の排気浄化操作が実行される。なお、図示していないが、図15、図16、図19の各実施形態についても、三元触媒5をNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒7に置き換えた構成が可能であり、この場合排気浄化操作もそれぞれの実施形態と同一になる。

【0128】次に本発明の排気浄化操作の別の実施形態について説明する。上述の図23から図27の実施形態では、NH₃生成手段としてNO_x吸蔵還元触媒を用いた場合にも、三元触媒を用いたのと同一の排気浄化操作をおこなっている。しかし、実際には三元触媒はリーン空燃比運転中に排気中のNO_xを通過させてしまうのに

対して、NO_x吸蔵還元触媒はリーン空燃比運転中に排気中のNO_xを吸収する。そこで、本実施形態では、NH₃生成手段としてNO_x吸蔵還元触媒を用いた場合に、NH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒のNO_x吸収作用を有効に活用することを可能とする排気浄化操作を行う。以下の排気浄化操作は、図23から図27のいずれの実施形態についても適用可能であるが、ここでは図23の実施形態を例に取って説明することとする。

【0129】図28は本実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。本操作は制御回路30により一定時間毎に実行されるルーチンにより行われる。本実施形態の排気浄化操作では、図6の操作と同様リーン空燃比運転時に下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量を算出し、この吸蔵量が所定値に到達する毎にリッチスパイク運転を行って、NH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70bによりNH₃を生成させる。しかし、本実施形態ではNH₃生成手段としてNO_x吸蔵還元触媒70a、70bが使用されるため、リーン空燃比運転時にはNO_x吸蔵還元触媒70a、70bにより排気中のNO_xが吸収されてしまい、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に到達するNO_x量は比較的少なくなっている。一方、NH₃生成手段として使用されるNO_x吸蔵還元触媒70a、70bは、比較的小容量であり吸蔵できるNO_x量も比較的少なくなっている。公知のように、NO_x吸蔵還元触媒では、NO_x吸蔵量が飽和量に近づくと流入する排気中のNO_xのうち吸収されずにNO_x吸蔵還元触媒を通過するNO_xの量が徐々に増大する、いわゆるNO_xの「しみ出し」が生じる。従って、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量が飽和量に近づくに連れて徐々にNO_x吸蔵還元触媒70a、70bを通過して下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に吸収されるNO_x量が増大する。そこで、本実施形態ではNH₃生成手段としてのNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量が少ない間は排気中のNO_xが全量NO_x吸蔵還元触媒70a、70bに吸収されるとして、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量カウンタを増大させない。そして、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量が上記「しみ出し」が生じる程度に増大したときから、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に排気中のNO_xが到達するようになるとして下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量カウンタを増大させるようにしている。

【0130】以下、図28のフローチャートを簡単に説明する。図28のフローチャートは図6のフローチャートと略同一であるが、ステップ2821からステップ2825が追加されている点が大きく相違している。すなわち、本操作においても、リーン空燃比運転中(ステップ2801)に図6ステップ603と同一の操作(ステップ2803)により機関NO_x発生量ANOXを算出

する。そして、ステップ2805ではカウンタF1NOXの値をANOXだけ増大させる。ここで、F1NOXは上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量を表すカウンタである。

【0131】そして、ステップ2807ではNO_x吸蔵還元触媒70a、70bの吸蔵量F1NOXが所定値F1NOX₀に到達したか否かが判定される。F1NOX₀は、NO_x吸蔵還元触媒70a、70bにおいて前述したNO_xのしみ出しが始まるNO_x吸蔵量であり、図6の実施形態におけるF1NOX₀（例えば飽和量の70%程度）と同じ程度の値となる。そして、ステップ2807で吸蔵量F1NOXがしみ出し開始吸蔵量F1NOX₀に到達していない場合には、本操作はそのまま終了する。すなわち、この場合には機関で発生したNO_xは全て上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bに吸収され下流側のNO_x吸蔵還元触媒7には到達しないため、後述する下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量カウンタF2NOXは増大させない。

【0132】一方、ステップ2807でF1NOXの値がしみ出し開始吸蔵量F1NOX₀に到達していた場合には、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bでは排気中のNO_xの一部が吸収されずに下流側に流出するようになるため、ステップ2821で、しみ出しにより下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に到達するNO_x量A2NOXが算出される。A2NOXは、単位時間当たりに下流側のNO_x吸蔵還元触媒7に到達するNO_xの量であり、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量F1NOXが多い程増大し、また、機関のNO_x発生量ANOXが大きい程大きな値になる。本実施形態では、予め上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量と、機関の単位時間当たりのNO_x発生量とを変えて、単位時間当たりのしみ出し量A2NOXを実験等によりもとめてある。そして、A2NOXの値はF1NOXとANOXとを用いた数値テーブルの形で制御回路30のROMに予め格納されており、ステップ2821では、F1NOXとANOXとの値に基づいてこの数値テーブルからA2NOXの値が決定される。

【0133】そして、ステップ2823では、下流側のNO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量を表すカウンタF2NOXの値がステップ2821で求めたしみ出し量A2NOXだけ増大される、そして、ステップ2825ではF2NOXの値が所定値F2NOX₀に到達するとステップ2809、2811が実行されリッチスパイクが開始される。

【0134】フラグFLのリセット（ステップ2809）、リッチスパイク時間CTの設定（ステップ2811）は図6ステップ609、611と同様の操作である。また、ステップ2813からステップ2819は図6ステップ613から619と同様の操作であるのでこ

こでは、説明を省略する。図29は、図28の排気浄化操作を行った場合のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bとNO_x吸蔵還元触媒7とのNO_x吸蔵量の変化を説明するタイミング図である。図29においてカーブAは上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量F2NOXを、カーブBは下流側NO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量F2NOXを、それぞれ示している。図29、カーブAに示すように上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量が増大してF1NOX₀に到達すると（図29、時点I）上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bからのNO_xのしみ出しのため下流側NO_x吸蔵還元触媒7に到達するNO_x量が増大し、下流側NO_x吸蔵還元触媒7でもNO_x吸蔵量が徐々に増大するようになる。また、上流側のNO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵量が増大するにつれ、しみ出しにより下流側に到達する単位時間当たりのNO_x量は増大し、更に上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bの吸蔵量が飽和量に到達すると機関で発生したNO_xの全量が下流側NO_x吸蔵還元触媒7に到達するようになる。このため、下流側NO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量の増加速度は次第に大きくなる。そして、下流側NO_x吸蔵還元触媒7のNO_x吸蔵量がF2NOX₀に到達すると、図28の操作により機関1のリッチスパイクが実行され（図29、時点II）、上流側と下流側のNO_x吸蔵還元触媒に吸蔵されたNO_xが全て放出され、両方の触媒の吸蔵量がゼロになる。すなわち、本実施形態では、上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵容量を考慮してリッチスパイク実行タイミングを設定するようにしたことにより、上流側NO_x吸蔵還元触媒70a、70bのNO_x吸蔵能力を有効に活用してリッチスパイク実行間隔を大きくすることが可能となっている。

【0135】

【発明の効果】各請求項に記載の発明によれば、リッチ空燃比の排気中のNO_xをNH₃に転換し、このNH₃を用いて排気中のNO_xを還元する際に、機関全体の出力トルク変動を低く抑えながら十分な量のNH₃を生成して排気中のNO_xの浄化率を向上させることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の排気浄化装置の一実施形態の構成を示す略示図である。

【図2】筒内燃料噴射弁を説明する気筒断面図である。

【図3】三元触媒のNH₃生成効率とNO_xの転換率との排気空気過剰率による変化を説明する図である。

【図4】気筒内燃焼空気過剰率によるNO_x生成量の変化と、三元触媒によるNH₃生成量との関係を示す図である。

【図5】追加燃料噴射を実施した場合の三元触媒によるNH₃生成量と排気空気過剰率との関係を示す図である。

る。

【図6】図1の実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。

【図7】図6の排気浄化操作のための燃料噴射制御を説明するフローチャートである。

【図8】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図9】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図10】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図11】図10の実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。

【図12】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図13】図12の実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。

【図14】図12の排気浄化操作のための燃料噴射制御を説明するフローチャートである。

【図15】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図16】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図17】図16の実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。

【図18】図16の排気浄化操作のための燃料噴射制御を説明するフローチャートである。

【図19】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図20】図19の実施形態の排気浄化操作を説明する

フローチャートである。

【図21】図19の排気浄化操作のための燃料噴射制御を説明するフローチャートの一部である。

【図22】図19の排気浄化操作のための燃料噴射制御を説明するフローチャートの一部である。

【図23】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図24】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図25】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図26】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図27】本発明の排気浄化装置の別の実施形態の構成を示す略示図である。

【図28】図23の実施形態の排気浄化操作を説明するフローチャートである。

【図29】図28の排気浄化操作による NO_x 吸収還元触媒の NO_x 吸収量の変化を説明するタイミングダイアグラムである。

【符号の説明】

1…内燃機関

5…三元触媒

7… NO_x 吸収還元触媒

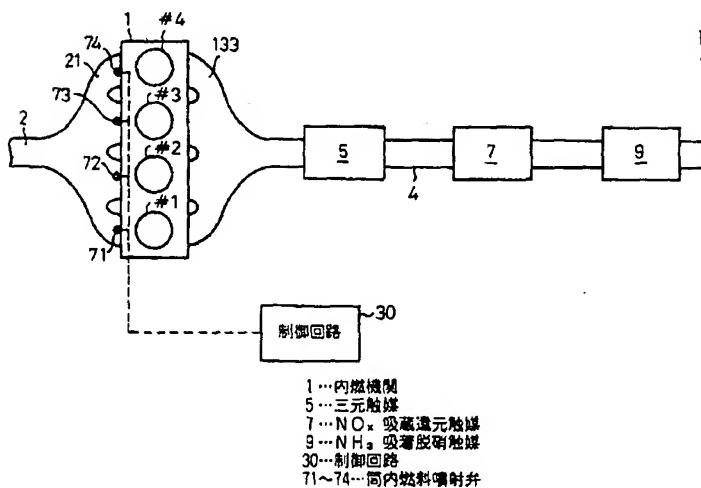
9… NH_3 吸着脱硝触媒

30…制御回路

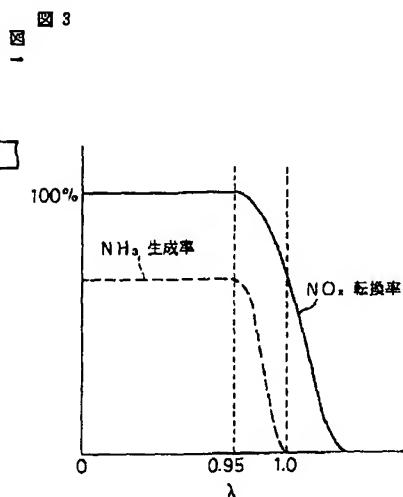
70、70a、70b… NO_x 吸収還元触媒 (NH_3 生成手段)

71、72、73、74…筒内燃料噴射弁

【図1】

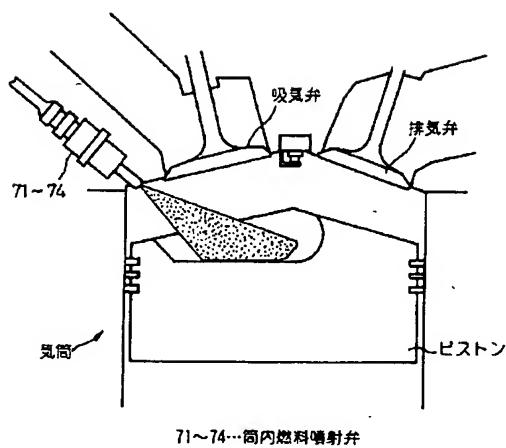


【図3】



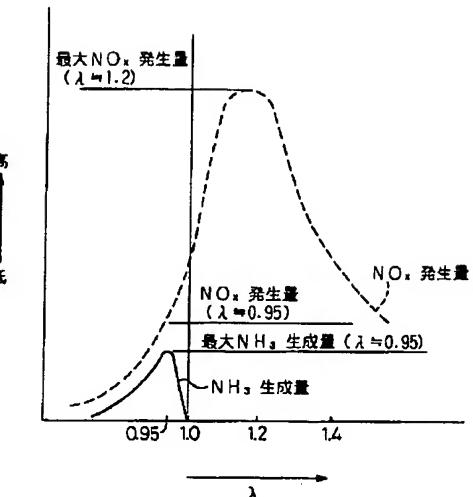
【図2】

図2



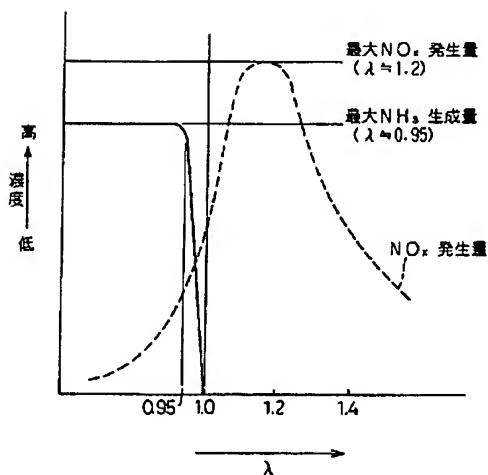
【図4】

図4



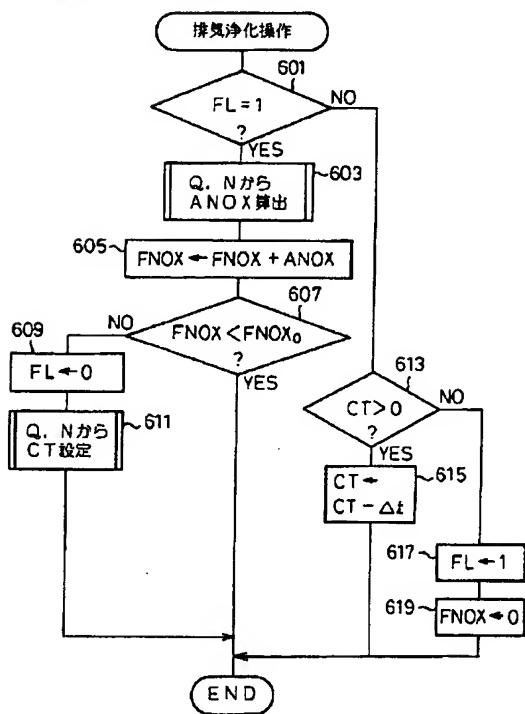
【図5】

図5



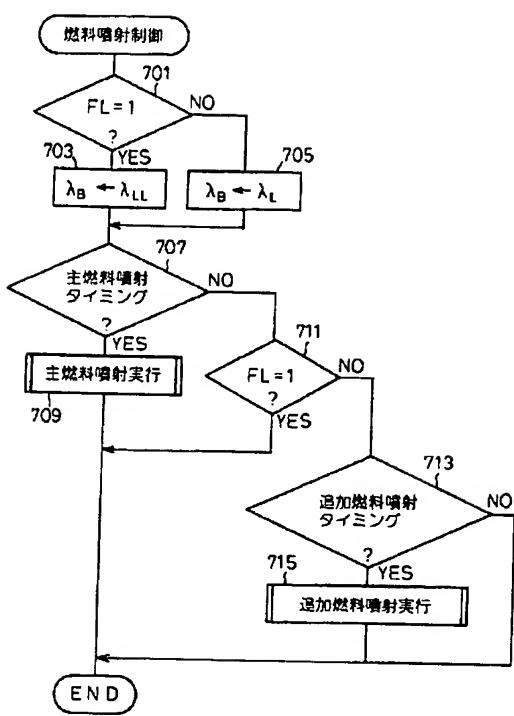
【図6】

図6



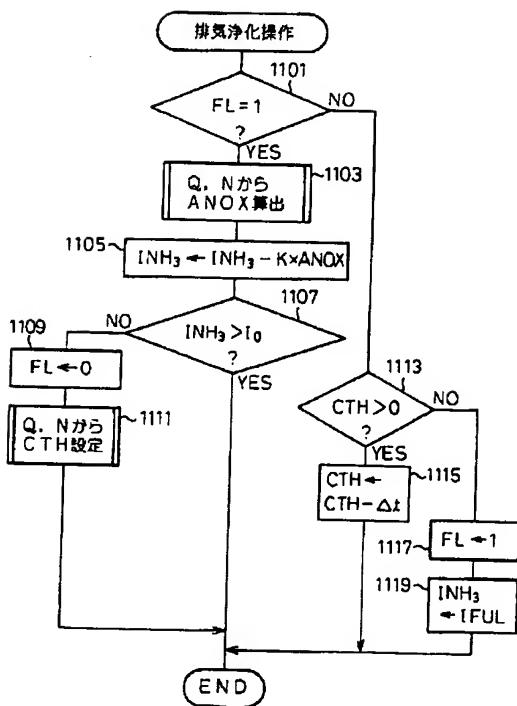
【図7】

図7



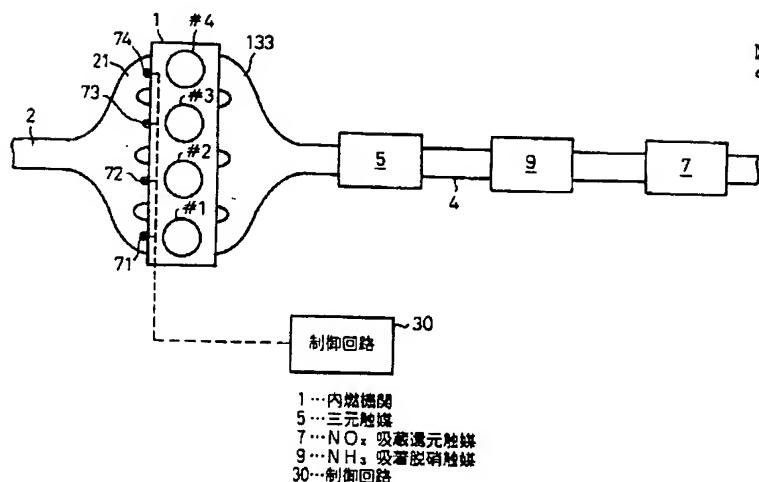
【図11】

図11

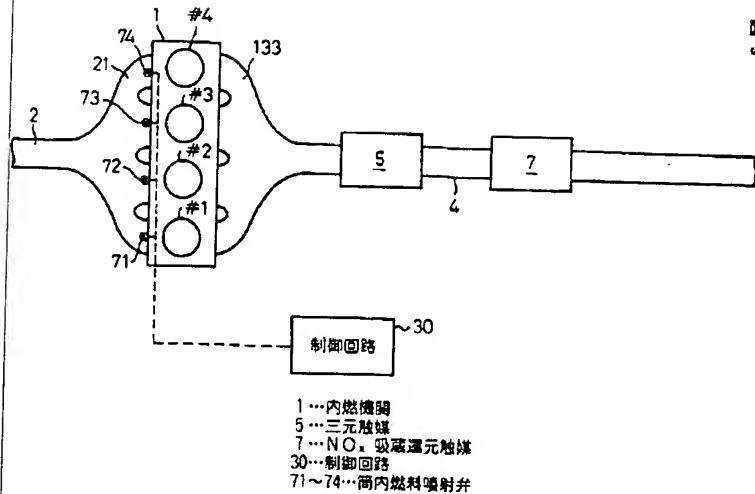


【図8】

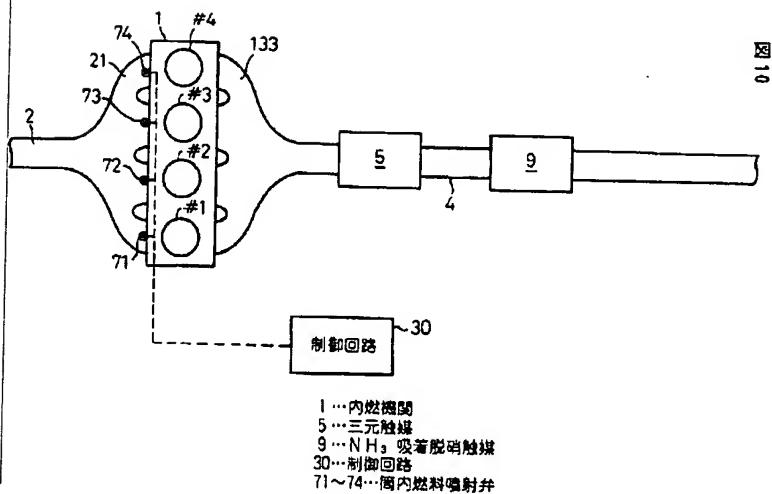
図8



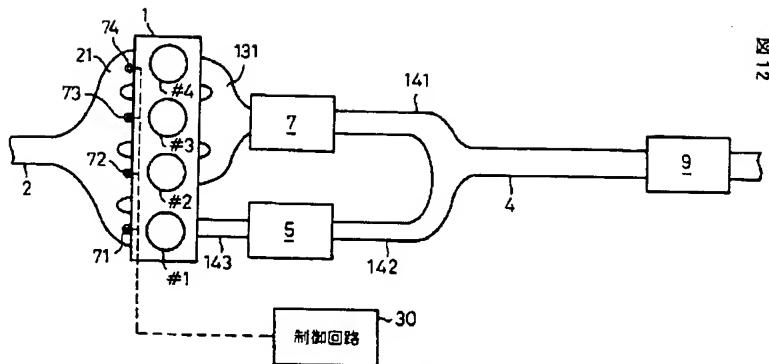
【図9】



【図10】

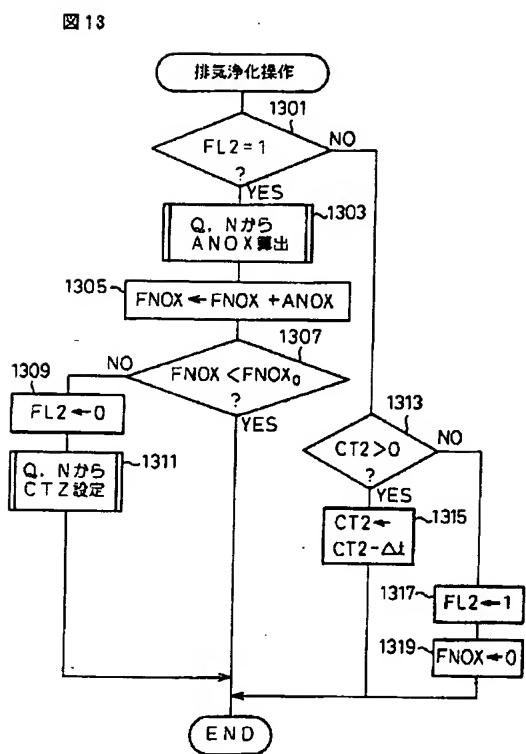


【図12】

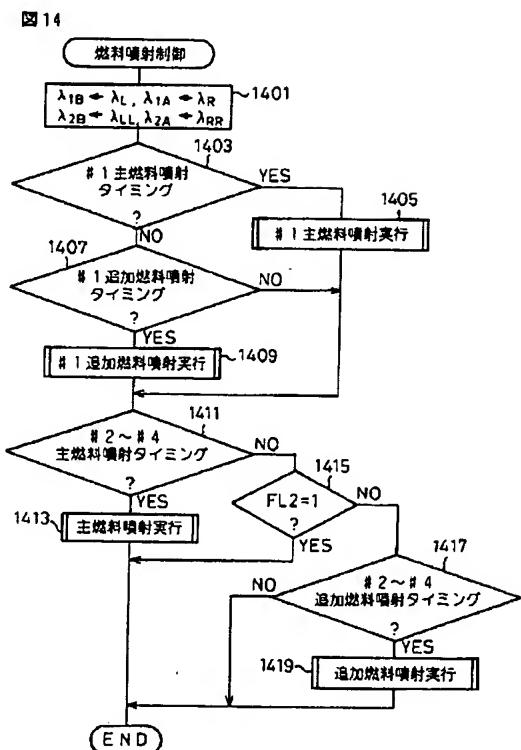


1…内燃機関
 5…三元触媒
 7…NO_x吸着還元触媒
 9…NH₃吸着脱硝触媒
 30…制御回路
 71~74…筒内燃料噴射弁

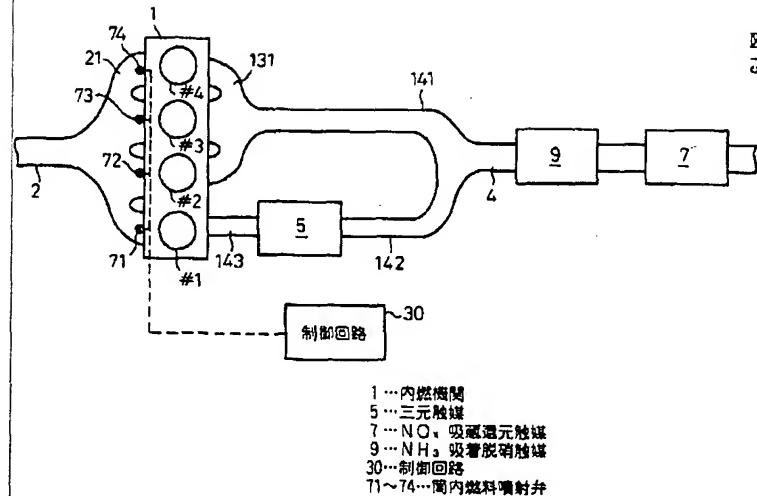
【図13】



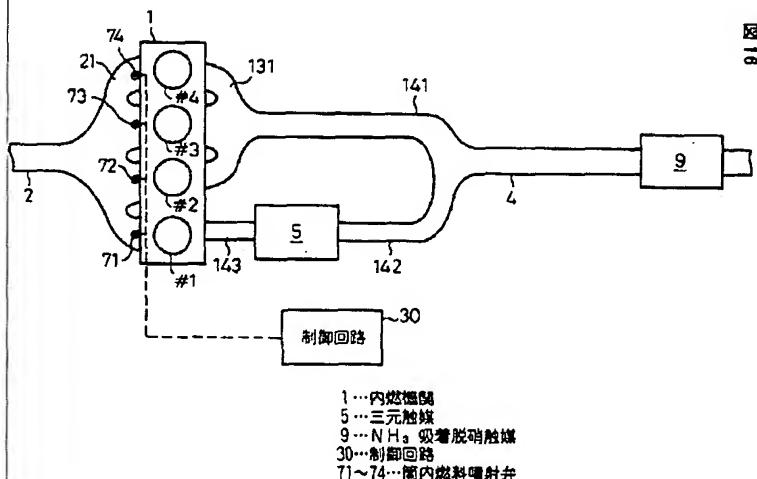
【図14】



【図15】

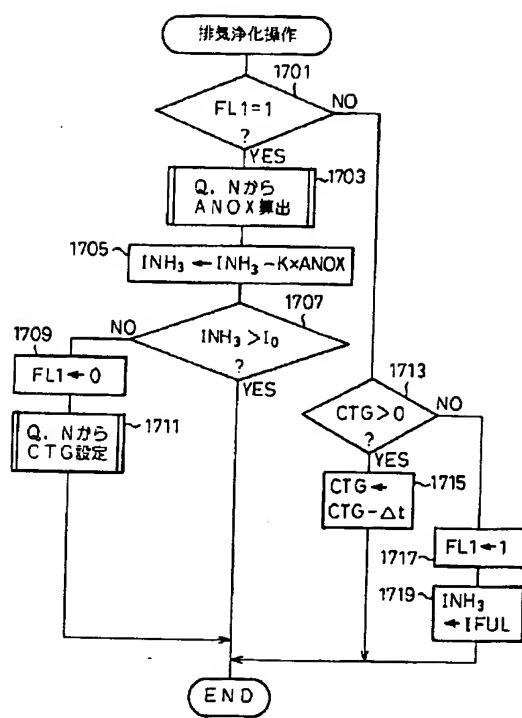


【図16】

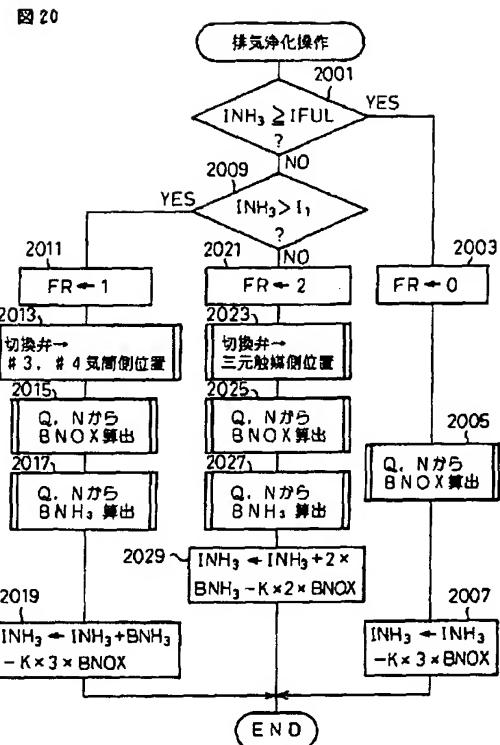


【図17】

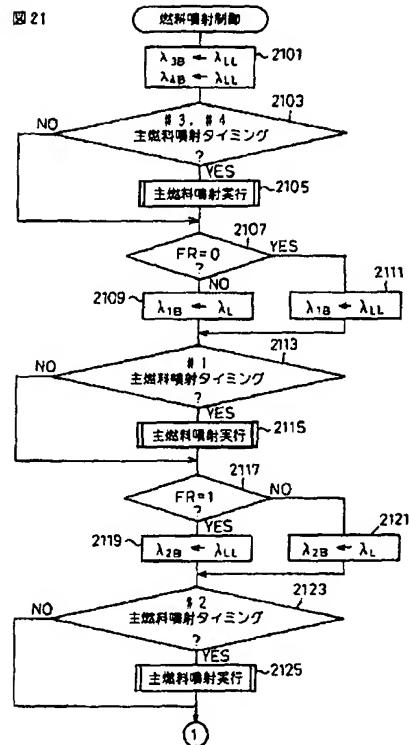
図17



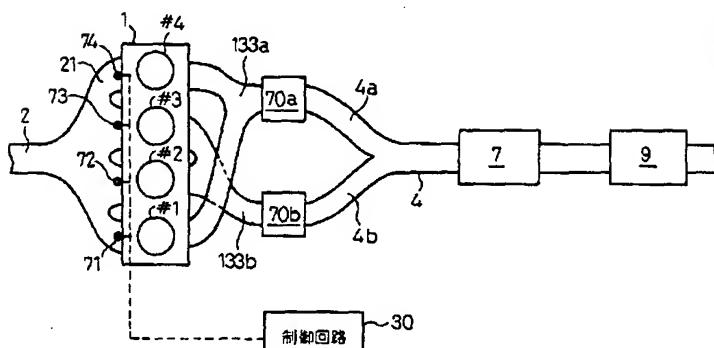
【図20】



【図21】



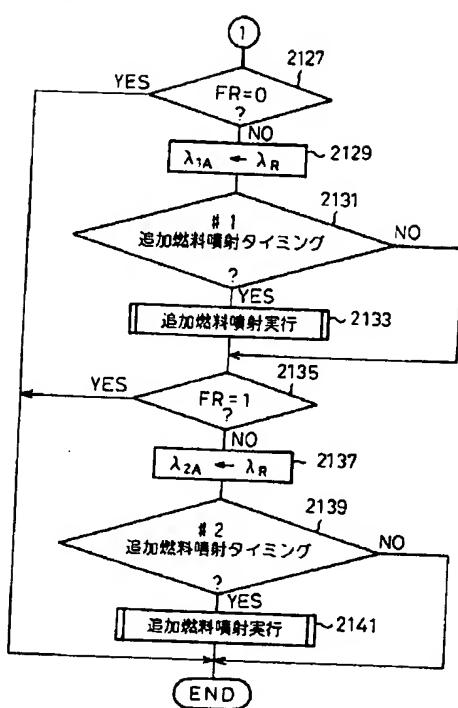
【図23】



1…内燃機関
7…NOx吸着還元触媒
9…NH3吸着脱硝触媒
30…制御回路
70a, 70b…NOx吸着還元触媒 (NH3生成手段)
71~74…筒内燃料噴射弁

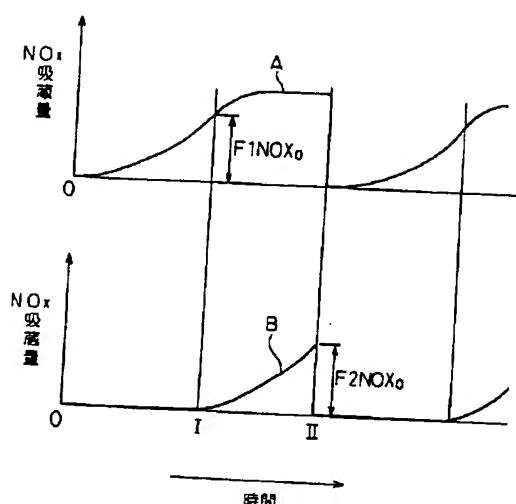
【図22】

図22



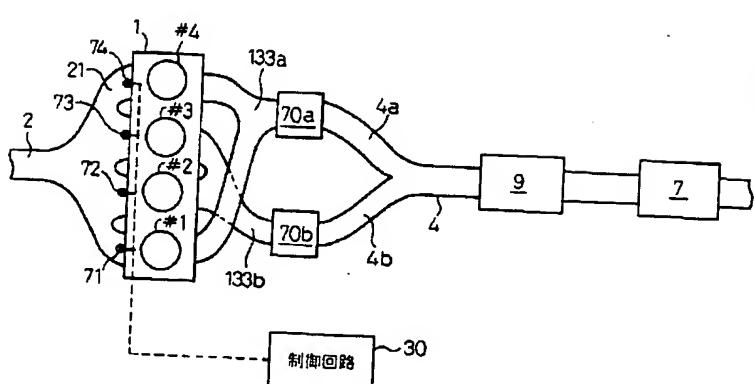
【図29】

図29



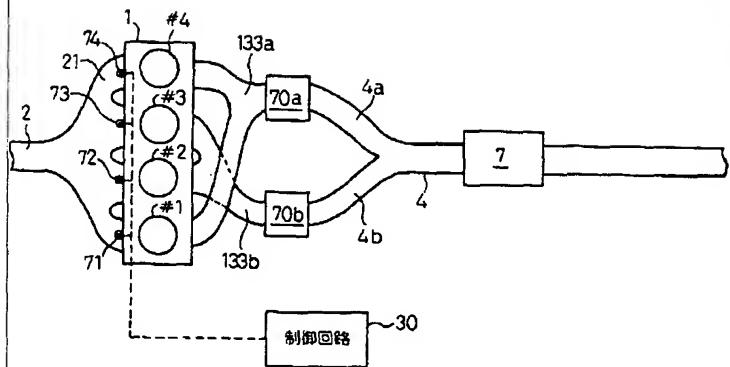
【図24】

図24



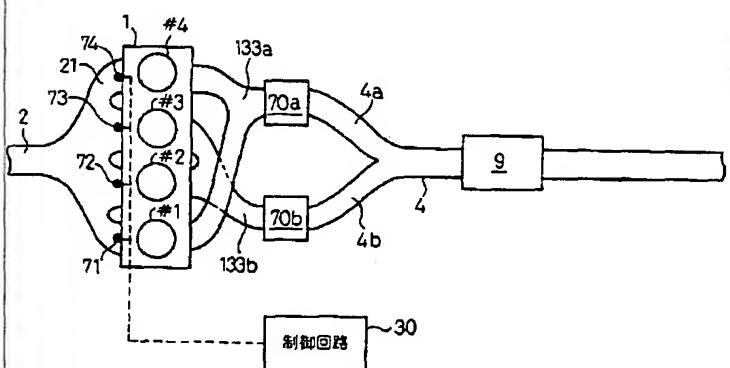
1...内燃機関
 7...NO_x 吸収還元触媒
 9...NH₃ 吸収脱硝触媒
 30...制御回路
 70a, 70b...NO_x 吸収還元触媒 (NH₃ 生成手段)
 71~74...筒内燃料噴射弁

【図25】



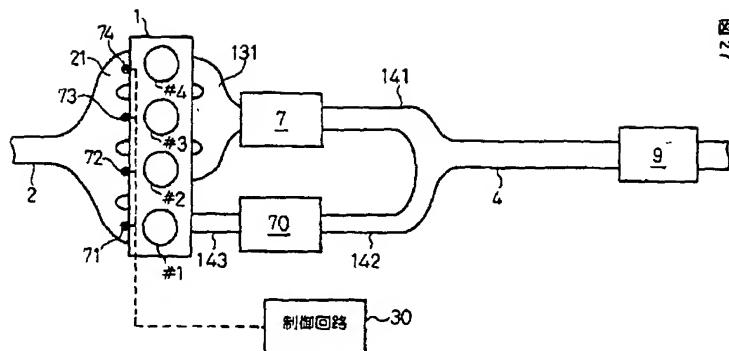
1…内燃機関
7…NO_x 吸収還元触媒
30…制御回路
70a, 70b…NO_x 吸収還元触媒 (NH₃ 生成手段)
71~74…筒内燃料噴射弁

〔図26〕



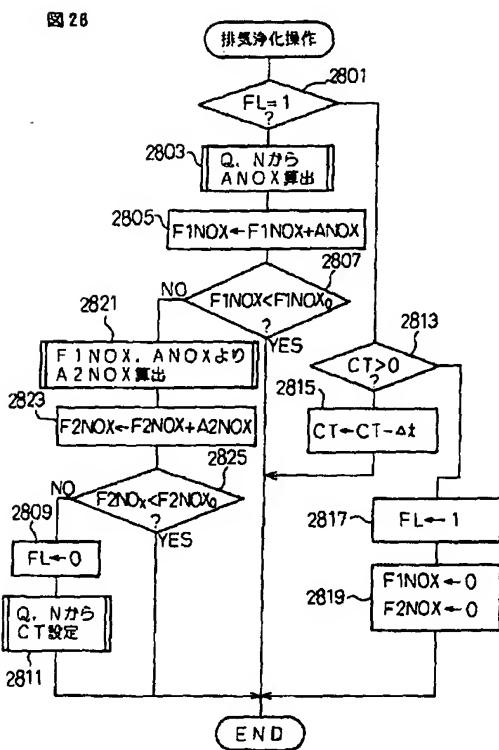
1 … 内燃機関
 9 … NH_3 吸収脱硝触媒
 30 … 制御回路
 70a, 70b … NO_x 吸収還元触媒 (NH_3 生成手段)
 71～74 … 管内燃料噴射弁

〔図27〕



1...内燃機関
 7...NO_x吸収還元触媒
 9...NH₃吸着脱硝触媒
 30...制御回路
 70...NO_x吸収還元触媒 (NH₃生成手段)
 71~74...筒内燃料噴射弁

【图28】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号		
F 01 N 3/24	ZAB	F I	
3/28	ZAB	F 01 N 3/28	3 01 F
	3 01	F 02 D 41/02	ZAB
F 02 D 41/02	ZAB	B 01 D 53/36	3 01 A
	3 01		ZAB
			1 01 A